



كتاب الشرح



الصف 3 الثانوى ar



2023

محتويات الكتاب

الفصل 5

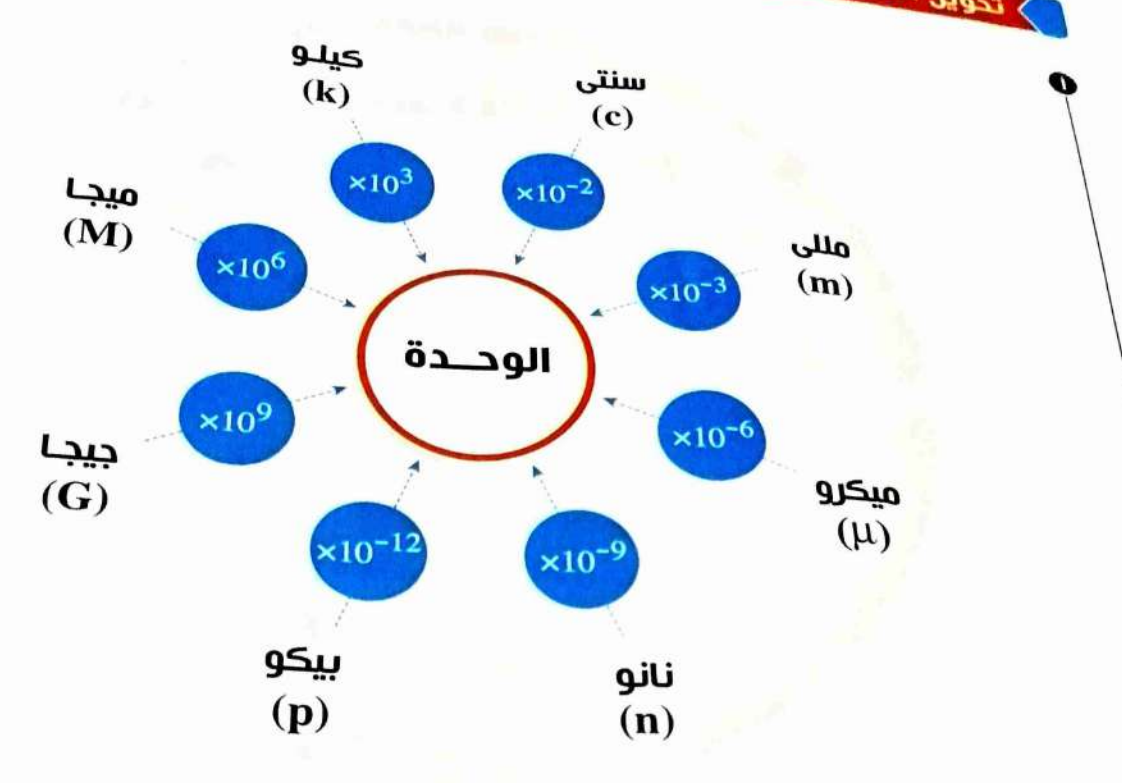
الفصل 6

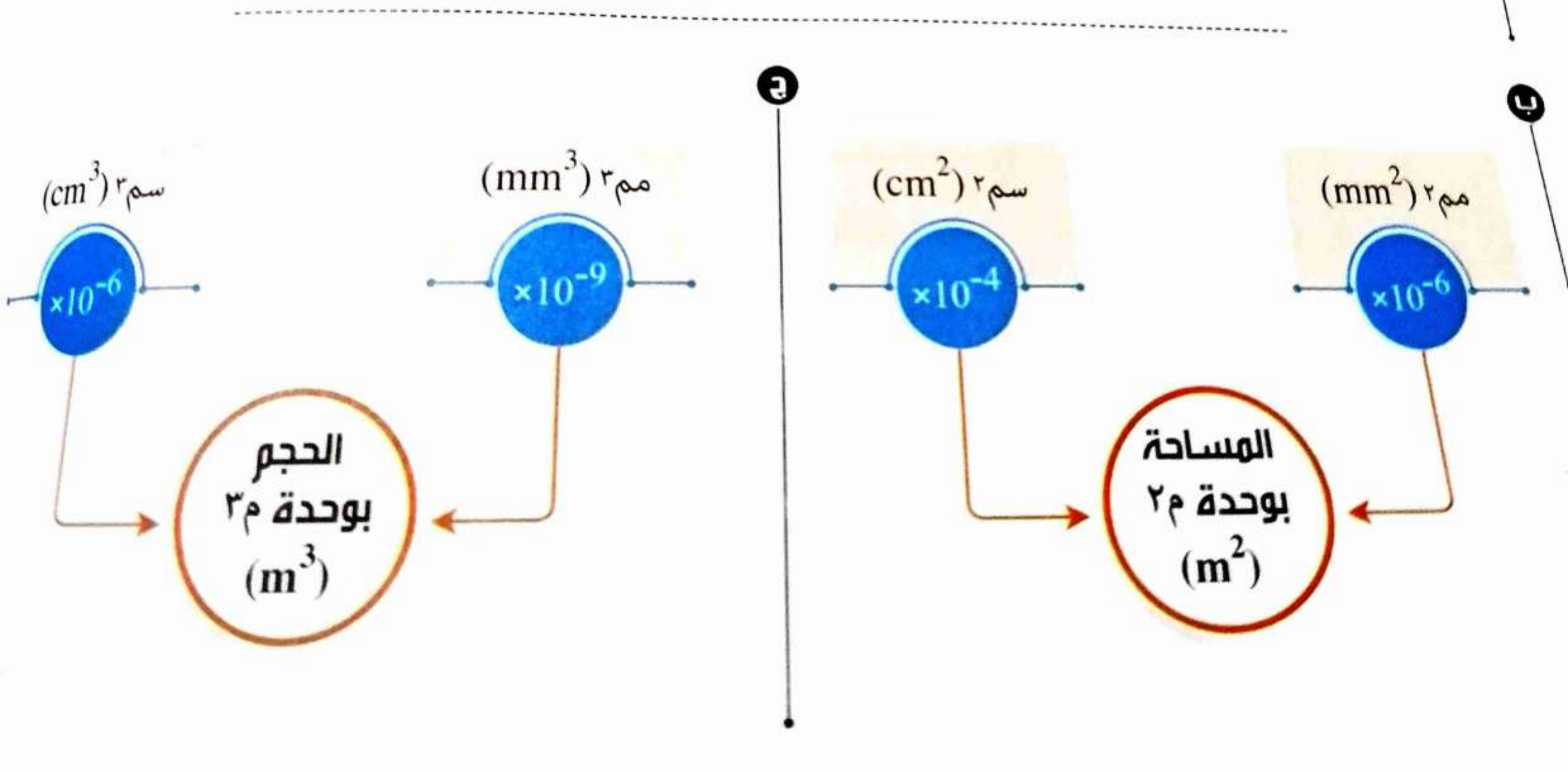
الوحـدة الثانيـة

مقدمة فى الفيزياء الحديثة

اساسيات رياضية هامة

تحويل الكسور والمضاعفات الى الوحدات العملية

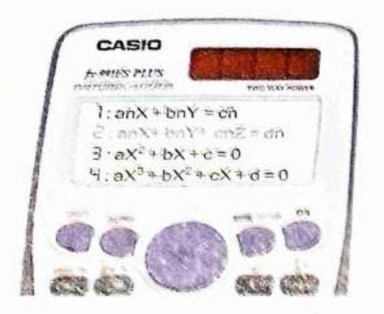




خطوات استخدام الآلة الحاسبة لحل معادلات من الدرجـة الأولى فى ثلاثـة مجاهيـل



١ نضغط زر **MODE** فتظهـــر لنا الشــاشة المقـــابلة.



٢ نضغط الرقم الدال على **EQN** لاختيار صيغة المعـــادلات فتظهـــر لنا الشاشـــة المقابـلة بحيث يـدل رقم الاختيـــار على صيغة المعادلات كالتالى :

1. معادلة من الدرجة الأولــى فى مجهوليـــن.
2. معادلة من الدرجة الأولــى فى ثلاثة مجاهيل.
3. معادلة من الدرجة الثانيــة فى مجهول واحد.
4. معادلة من الدرجة الثالثـة فى مجهول واحد.



٣ نضغط رقم 2 لاختيار صيغة المعادلات من الدرجـة الأولى فى ثلاثـــة مجـاهيــــل فتظهـــر لنا الشاشـــة المقابلة،نقــوم بإدخال المعــامــلات الخاصة بكل مجهول على حـــدة بحيـــث نكتب من المعادلة الأولى قيمة **a** ثم نضغط **=** ثم قيمة **b** ونضغـط **=** وكــذلك بالنسبـة لـ **c** ، **d** فتظهـــر لنا تلك البيانـــات بالتتابع فى السطر الأول على الشاشـــة المقابلـــة.

٤ نطبق الخطوة السابقة على المعادلتين الثانية والثالثة لإدخال باقى المعاملات.

٥ لنحصل على قيم المجاهيل الثلاثة بعد إدخال جميع المعاملات نضغط **=** فتظهر لنا على الشاشة قيمة **X** وبالمثل نضغط **=** فتظهر لنا قيمة **Y** وكذلك بالنسبة لـ **Z**

الكميات الفيزيائية الواردة بالمنهج ورموزها ووحدات قياسها

الكمية الفيزيائية	الرمز	وحدة القياس، وبعض الوحدات المكافئة لها	
الشغل المبذول	W	جول = وات.ثانية = ڤولت.كولوم	$J = Watt.s$ $= V.C$
كمية الكهربية (الشحنة الكهربية)	Q	كولوم = جول.ڤولت$^{-١}$ = أمبير.ثانية = ڤولت.ثانية.أوم$^{-١}$	$C = J.V^{-1}$ $= A.s$ $= V.s.\Omega^{-1}$
شدة التيار الكهربى	I	أمبير = كولوم.ثانية$^{-١}$ = ڤولت.أوم$^{-١}$	$A = C.s^{-1}$ $= V.\Omega^{-1}$
فرق الجهد	V	ڤولت = جول.كولوم$^{-١}$ = أمبير.أوم	$V = J.C^{-1}$ $= A.\Omega$
المقاومة الكهربية لموصل	R	أوم = ڤولت.أمبير$^{-١}$	$\Omega = V.A^{-1}$
طول سلك أو طول ملف حلزونى	ℓ	متر	m
مساحة وجه الملف	A	م^{٢}	m^2
المقاومة النوعية	ρ_e	أوم.م = ڤولت.أمبير$^{-١}$.م	$\Omega.m$ $= V.A^{-1}.m$
التوصيلية الكهربية	σ «سيجما»	أوم$^{-١}$.م$^{-١}$ = ڤولت$^{-١}$. أمبير.م$^{-١}$	$\Omega^{-1}.m^{-1}$ $= V^{-1}.A.m^{-1}$
القوة الدافعة الكهربية لبطارية	V_B	ڤولت	V
المقاومة الداخلية لبطارية	r	أوم	Ω
الفيض المغناطيسى	ϕ_m	وبر = نيوتن.م/أمبير = ڤولت.ثانية = تسلا.م^{٢}	$Weber = N.m/A$ $= V.s = T.m^2$
كثافة الفيض المغناطيسى	B	تسلا = نيوتن/ أمبير.م = وبر/م^{٢} = ڤولت.ثانية.م$^{-٢}$	$Tesla = N/A.m$ $= Weber/m^2 = V.s.m^{-2}$

الكمية الفيزيائية	الرمز	وحدة القياس، وبعض الوحدات المكافئة لها	
معامل النفاذية المغناطيسية	μ «ميو»	وبر/أمبير. متر = تسلا.م/أمبير	Weber/A.m = T.m/A
عدد لفات ملف دائرى أو حلزونى	N	لفة	turn
عدد لفات ملف حلزونى لوحدة الأطوال	n	لفة/متر	turn/m
القوة المغناطيسية	F	نيوتن = كجم.م/ثانية٢	$N = kg.m/s^2$
عزم الازدواج المغناطيسى	τ «تاو»	نيوتن.متر = كجم.م٢/ثانية٢	$N.m = kg.m^2/s^2$
عزم ثنائى القطب المغناطيسى	$\lvert\overrightarrow{m_d}\rvert$	نيوتن.متر/تسلا = كجم.م٢/ثانية٢.تسلا = أمبير.م٢	N.m/T $= kg.m^2/s^2.T$ $= A.m^2$
مقاومة مجزئ التيار	R_s	أوم	Ω
مقاومة مضاعف الجهد	R_m	أوم	Ω
القوة الدافعة الكهربية المستحثة اللحظية	emf	ڤولت	V
معامل الحث المتبادل بين ملفين	M	هنرى = وبر/أمبير = تسلا.متر٢/أمبير	H = Weber/A $= T.m^2/A$
معامل الحث الذاتى للملف	L	= ڤولت.ثانية/أمبير = أوم.ثانية	= V.s/A = Ω.s
السرعة الزاوية	ω «أوميجا»	راديان/ ثانية	rad/s
التردد (عدد دورات الملف فى الثانية)	f	هيرتز = ثانية$^{-١}$	$Hz = s^{-1}$
القوة الدافعة الكهربية الفعالة	$(emf)_{eff}$	ڤولت	V
القيمة الفعالة للتيار المتردد	I_{eff}	أمبير	A
كفاءة المحول الكهربى	η	—	—
المفاعلة الحثية للملف	X_L	أوم	Ω
سعة المكثف	C	فاراد = كولوم/ڤولت	F = C/V
المفاعلة السعوية لمكثف	X_C	أوم	Ω
المعاوقة	Z	أوم	Ω

الكمية الفيزيائية	الرمز	وحدة القياس، وبعض الوحدات المكافئة لها	
الطول الموجي عند أقصى شدة إشعاع	λ_m	متر	m
طاقة الفوتون	E	چول	J
التردد الحرج	υ_c	هيرتز = ثانية^-١	$Hz = s^{-1}$
دالة الشغل لسطح	E_w	چول	J
كتلة الإلكترون	m_e	كجم	kg
شحنة الإلكترون	e	كولوم	C
معدل سقوط الفوتونات	ϕ_L	فوتون/ثانية	photon/s
ثابت بلانك	h	چول.ثانية = كجم.م^٢.ثانية^-١	$J.s$ $= kg.m^2.s^{-1}$
كمية الحركة الخطية	P_L	كجم.م/ثانية	kg.m/s
القوة المؤثرة من حزمة فوتونات	F	نيوتن	N
القدرة	P_w	وات = چول.ثانية^-١ = أمبير^٢.أوم = ڤولت.أمبير = ڤولت^٢/أوم	$Watt = J.s^{-1}$ $= A^2.\Omega$ $= V.A$ $= V^2/\Omega$
تركيز الإلكترونات الحرة	n	سم^-٣	cm^{-3}
تركيز الفجوات	p	سم^-٣	cm^{-3}
تركيز أيونات الشوائب المعطية	N_D^+	سم^-٣	cm^{-3}
تركيز أيونات الشوائب المستقبلة	N_A^-	سم^-٣	cm^{-3}
نسبة التوزيع	α_e	—	—
نسبة تكبير الترانزستور	β_e	—	—
تيار الباعث	I_E	أمبير	A
تيار المجمع	I_C	أمبير	A
تيار القاعدة	I_B	أمبير	A

الوحدة الأولى

الكهربية التيارية والكهرومغناطيسية

الفصل

1

التيار الكهربي وقانون أوم وقانونا كيرشوف





الفصل 1

الدرس الأول

التيار الكهربى وقانون أوم

فى هذا الدرس سوف نتعرف :

- التيار الكهربى.
- فرق الجهد الكهربى.
- المقاومة الكهربية.
- قانون أوم.
- الطاقة الكهربية والقدرة الكهربية.
- حساب المقاومة الكهربية لموصل.

مفاهيـم أساسيـة فى الكهربيـة

أولًا التيار الكهربى

* لم تصبح الكهربية جزءًا أساسيًا من حياتنا اليومية إلا عندما توصل العلماء إلى كيفية التحكم فى حركة الشحنات الكهربية الحرة خلال المواد والتى تعتبر حركتها تيارًا كهربيًا.

التيار الكهربى

فيض من الشحنات الكهربية تسرى خلال الموصلات.

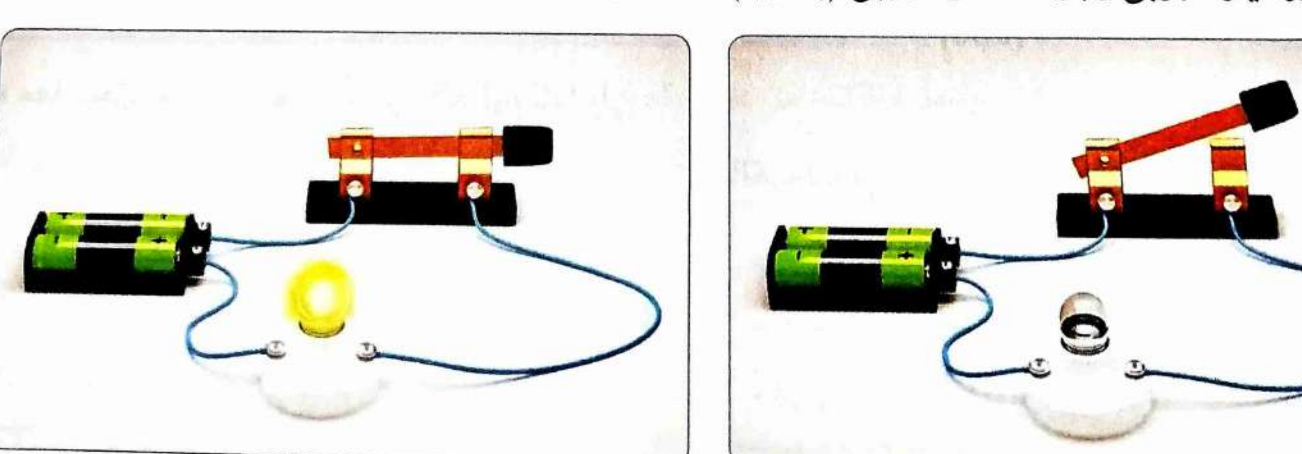
* **يمكن تقسيم المواد الصلبة من حيث قدرتها على التوصيل الكهربى إلى :**

مواد موصلة	أشباه موصلات	مواد عازلة
تحتوى على وفرة من الإلكترونات الحرة وتوصيليتها الكهربية مرتفعة وتسمح بمرور التيار الكهربى	مواد توصيليتها الكهربية وسط بين الموصلات والعازلات	لا تحتوى على وفرة من الإلكترونات الحرة وتوصيليتها الكهربية منخفضة ولا تسمح بمرور التيار الكهربى
	أمثلة	
- الفلزات مثل النحاس.	- السيليكون. - الجرمانيوم.	- اللافلزات مثل الكبريت. - الخشب. - المطاط.

معلومـة إثرائية

تتكون ذرات الموصلات من نواة يدور حولها عدد كبير من الإلكترونات وتكون الإلكترونات الخارجية ضعيفة الارتباط بالنواة ويمكن أن تفقدها الذرة إذا اكتسبت طاقة إضافية ويطلق عليها الإلكترونات الحرة وتحتوى قطعة من موصل على ملايين الإلكترونات الحرة التى تتحرك بحرية داخل الموصل مما يجعله جيد التوصيل للكهرباء.

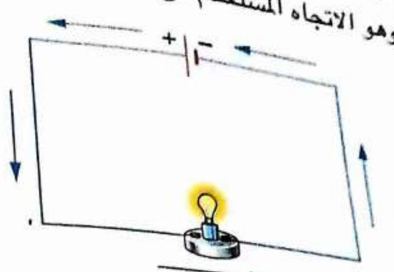
* يلزم لمرور تيار كهربى وجود مصدر كهربى (بطارية) متصل بدائرة كهربية مغلقة.



اتجـاه التيـار الكهربـى

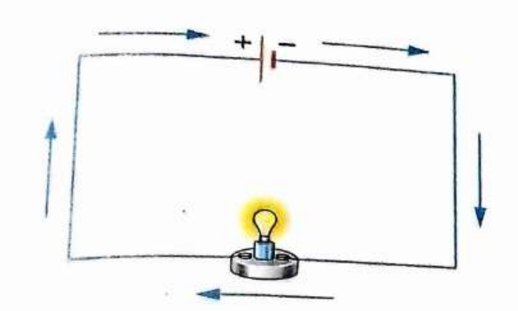
الاتجاه التقليدى للتيار

افترض العلماء قديمًا أن التيار الكهربى ينتج عن حركة الشحنات الموجبة وتبعًا لذلك اصطلح العلماء على أن اتجاه التيار فى الدائرة الكهربية يكون من القطب الموجب إلى القطب السالب (خارج البطارية) ويطلق على ذلك الاتجاه التقليدى (الاصطلاحى) للتيار (وهو الاتجاه المستخدم فى دراستنا لهذا المنهج)



الاتجاه الفعلى للتيار

بعد اكتشاف الإلكترونات تعرف العلماء أن التيار الكهربى فى الموصلات المعدنية ينتج عن حركة الإلكترونات وتبعًا لذلك يكون اتجاه التيار من القطب السالب إلى القطب الموجب خارج المصدر الكهربى ويسمى ذلك بالاتجاه الفعلى للتيار



نظرًا لأن اكتشاف التيار الكهربى وقوانينه سبق اكتشاف سببه الحقيقى فقد استمر الاصطلاح على اعتبار اتجاه التيار الكهربى على أنه اتجاه حركة الشحنات الموجبة وهذا لا يؤثر على أى قواعد أو قوانين خاصة بالتيار الكهربى.

شدة التيار الكهربى (I)

* تقدر بكمية الشحنة الكهربية المارة خلال مقطع من موصل فى زمن قدره 1 s
* تتعين شدة التيار الكهربى من العلاقة :

$$I = \frac{Q}{t}$$

حيث : (Q) كمية الشحنة الكهربية وتقاس بوحدة الكولوم (C)،

(t) الزمن ويقاس بوحدة الثانية (s).

تقاس شدة التيار الكهربى بوحدة **الأمبير (A) وتكافئ كولوم/ثانية (C/s)**

$$I = \frac{Q}{t} \Rightarrow A\ (\text{أمبير}) = \frac{C\ (\text{كولوم})}{s\ (\text{ثانية})}$$

* مما سبق يمكن تعريف الأمبير والكولوم كما يلى :

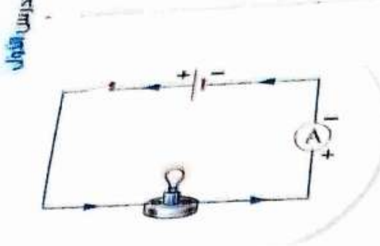
الأمبيـــر

شدة التيار الناتج عن سريان كمية من الشحنة الكهربية مقدارها 1 كولوم خلال مقطع من موصل فى زمن قدره 1 ثانية.

الكـولـوم

مقدار الشحنة الكهربية المارة خلال مقطع من موصل فى زمن قدره 1 ثانية عندما يمر به تيار كهربى شدته 1 أمبير.

* تقاس شدة التيار الكهربى المار فى دائرة كهربية **بجهاز الأميتر** ويرمز له فى الدائرة الكهربية بالرمز Ⓐ ويوصل على التوالى فى الدائرة الكهربية كما بالشكل.

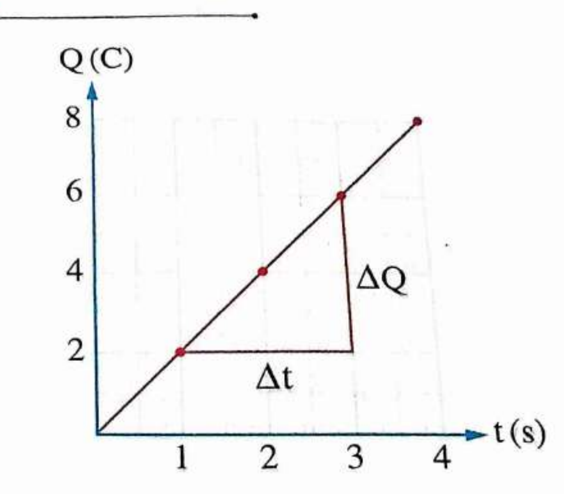


* إذا مرت كمية من الشحنة الكهربية Q خلال مقطع من موصل فى زمن t فإن تيارًا شدته I يمر فى الموصل، ويبين الجدولان التاليان مثالًا لقيم Q ، I مع الزمن (t) :

Q (C)	2	4	6	8
t (s)	1	2	3	4

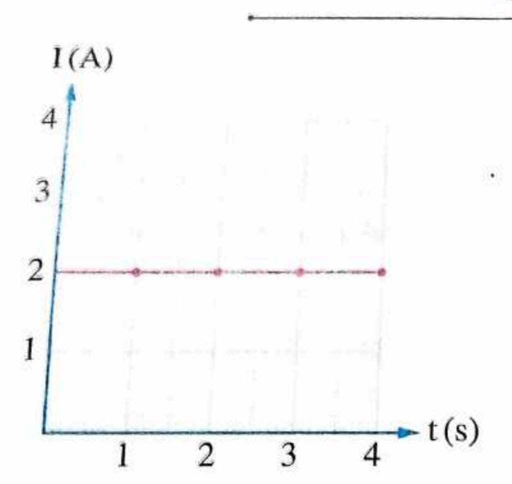
I (A)	2	2	2	2
t (s)	1	2	3	4

من الجدولين السابقين يمكن رسم الخط البيانى لكل منهما



◀ بتعيين ميل الخط المستقيم نحصل على شدة التيار المار فى الموصل :

$$slope = I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{6-2}{3-1} = 2\ A$$



◀ التيار المار فى الموصل فى هذه الحالة لا تتغير شدته بمرور الزمن وهو ما يطلق عليه تيار مستمر.

مثال

احسب شدة التيار الكهربى المار فى موصل والناتج عن مرور كمية من الشحنة الكهربية مقدارها 15 C خلال مقطع من الموصل فى زمن قدره 3 s

الحل

Q = 15 C | t = 3 s | **I = ?**

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{15}{3} = 5\ A$$

إرشاد

* يمكن حساب عدد الإلكترونات (N) المارة عبر مقطع معين من موصل من العلاقة : $N = \frac{Q}{e}$

حيث : (e) شحنة الإلكترون وتساوى $1.6 \times 10^{-19}\ C$

مثال

كم عدد الإلكترونات التى تمر عبر مقطع ما من موصل فى زمن قدره 1 s إذا كانت شدة التيار المار فى الموصل 20 A وشحنة الإلكترون $1.6 \times 10^{-19}\ C$ ؟

الحل

$t = 1\ s$ | $I = 20\ A$ | $e = 1.6 \times 10^{-19}\ C$ | $N = ?$

$I = \frac{Q}{t}$ ، $Q = It = 20 \times 1 = 20\ C$

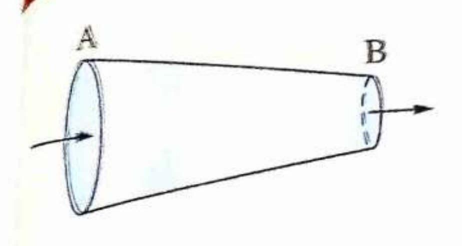
$$N = \frac{Q}{e} = \frac{20}{1.6 \times 10^{-19}} = \mathbf{1.25 \times 10^{20}\ electrons}$$

① اختبر نفسك

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :



١ الشكل المقابل يمثل جزء من موصل غير منتظم المقطع يمر به تيار كهربى مستمر، فإن كمية الشحنة الكهربية التى تمر خلال المقطع B خلال زمن معين ....



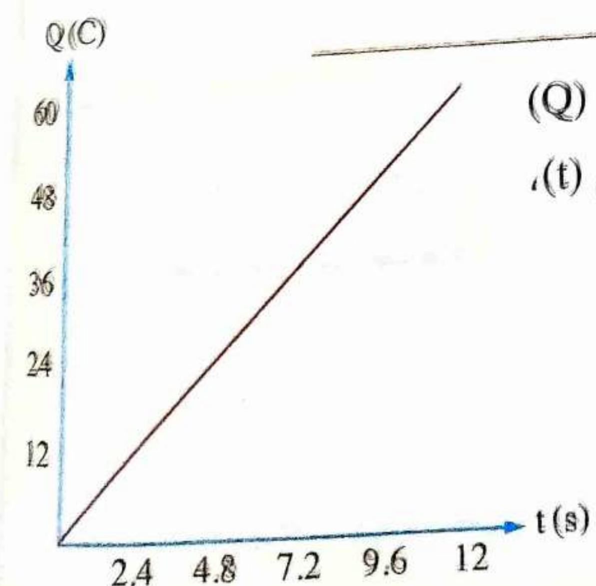
(أ) أقل من كمية الشحنة التى تمر خلال المقطع A فى نفس الزمن

(ب) أكبر من كمية الشحنة التى تمر خلال المقطع A فى نفس الزمن

(جـ) تساوى كمية الشحنة التى تمر خلال المقطع A فى نفس الزمن

(د) لا يمكن تحديد الإجابة

٢ الشكل البيانى المقابل يمثل العلاقة بين كمية الشحنة الكهربية (Q) المارة عبر مقطع من موصل فى دائرة تيار مستمر والزمن (t)، فتكون شدة التيار المار فى الموصل هى ....



(أ) 0.2 A

(ب) 3 A

(جـ) 4 A

(د) 5 A

ثانيًا فرق الجهـد الكهربى

* الجهـد الكهربـى عنـد نقطة هو الحالة الكهربية التى تحدد اتجاه انتقال الشـحنة مـن النقطة أو إليها حيث تتجه الشحنة الموجبة من النقطة ذات الجهد الكهربى الأعلى إلى النقطة ذات الجهد الكهربى الأقل.

• عندما يكون جهد نقطتين فى موصل •

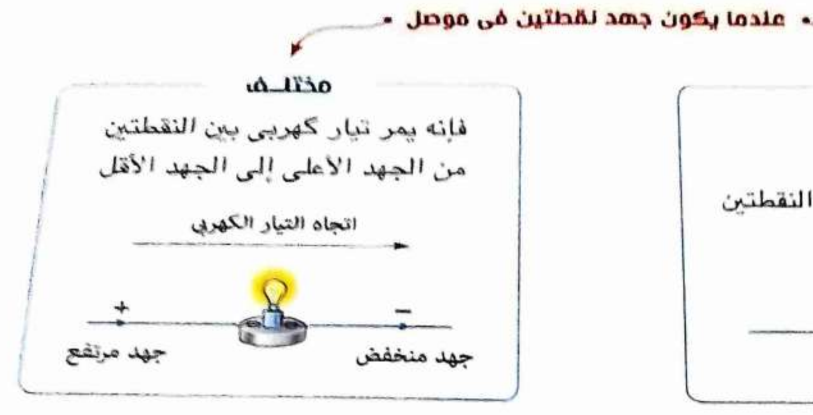
متساوى

فإنه لا يمر تيار كهربى بين النقطتين



مختلف

فإنه يمر تيار كهربى بين النقطتين من الجهد الأعلى إلى الجهد الأقل



فرق الجهد الكهربى بين نقطتين

مقدار الشغل المبذول لنقل كمية من الشحنة الكهربية مقدارها 1 كولوم بين النقطتين.

* يتعين فرق الجهد الكهربى (V) من العلاقة :

$$V = \frac{W}{Q}$$

حيث : (W) الشغل المبذول ويقاس بوحدة **الجول (J)**،

(Q) كمية الشحنة الكهربية وتقاس بوحدة **الكولوم (C)**

يقاس فرق الجهد الكهربى بوحدة **الڤولت (V)** وتكافئ جول/كولوم (J/C)

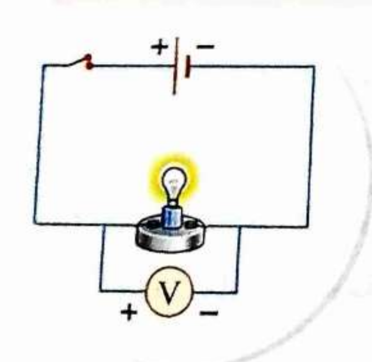
$$V = \frac{W}{Q} \Rightarrow V\ (\text{ڤولت}) = \frac{J\ (\text{جول})}{C\ (\text{كولوم})}$$

* مما سبق يمكن تعريف الڤولت كما يلى :

الڤولت

فرق الجهد بين نقطتين عندما يلزم بذل شغل مقداره 1 جول لنقل كمية من الشحنة الكهربية مقدارها 1 كولوم بين هاتين النقطتين.

* يقـاس فـرق الجهد الكهربى **بجهـاز الڤولتميتر** ويرمز له فـى الدائرة الكهربية بالرمز (V) ويوصل على التـوازى بين النقطتين المراد قياس فرق الجهد بينهما فى الدائرة الكهربيـة كما بالشكل.



مثال

إذا كان الشغل المبذول لنقل كمية من الشحنة الكهربية مقدارها 5 C بين طرفى موصل يساوى 20 J، احسب فرق الجهد بين طرفى الموصل.

الحل

$Q = 5\ C$ | $W = 20\ J$ | $V = ?$

$$V = \frac{W}{Q} = \frac{20}{5} = 4\ V$$

2 اختبر نفسك

مجاب عنه

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

فى أى الحالات الآتية يعبر السهم عن الاتجاه الاصطلاحى للتيار الكهربى المار فى المصباح بين النقطتين a ، b؟

(أ) a: +10 V ، b: +2 V (السهم من a إلى b)

(ب) a: +10 V ، b: 0 V (السهم من b إلى a)

(جـ) a: +2 V ، b: -4 V (السهم من b إلى a)

(د) a: 0 V ، b: -4 V (السهم من b إلى a)

ملاحظات

* يطلق على الشغل المبذول لنقل شحنة كهربية مقدارها 1 C فى الدائرة الكهربية كلها **القوة الدافعة الكهربية للمصدر الكهربى (V_B)** وتقاس بوحدة **الفولت (V)**.

* يقوم المصدر الكهربى ببذل شغل لتحريك الإلكترونات الحرة الموجودة بالفعل فى موصلات الدائرة الكهربية.

* يعتبر الجهد الكهربى للنقطة المتصلة بالأرض = صفر

ويرمز لها كما بالشكل المقابل.

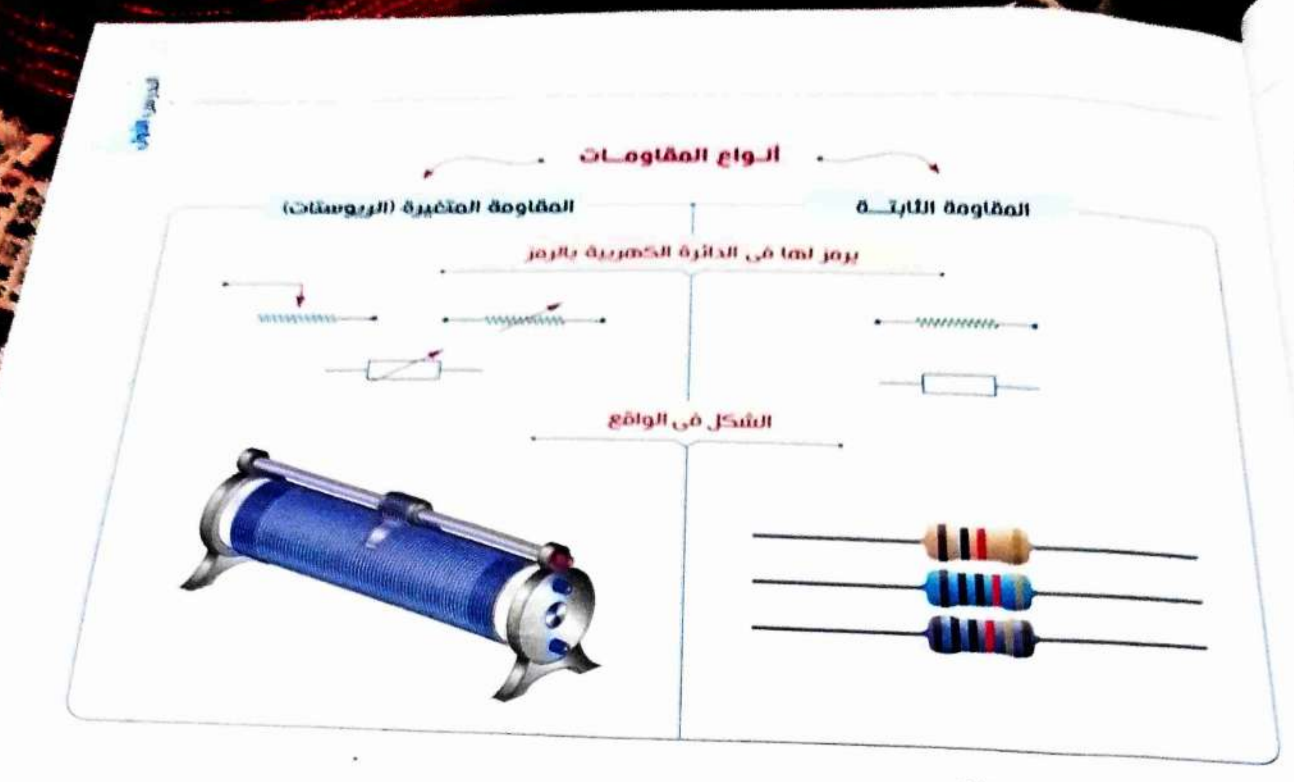


ثالثًا المقاومة الكهربية

* أثناء مرور تيار كهربى فى موصل فإن هذا التيار يواجه ممانعة أو مقاومة لمروره ناتجة عن تصادم إلكترونات التيار الكهربى مع جزيئات الموصل ويطلق على هذه الممانعة **المقاومة الكهربية (R)**.

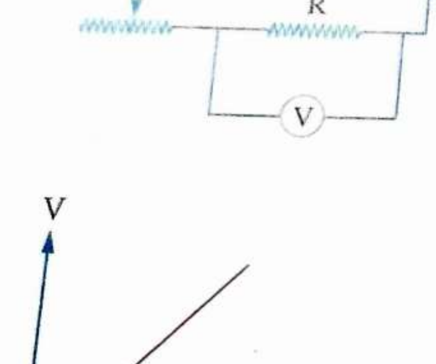
المقاومة الكهربية

الممانعة التى يلقاها التيار الكهربى أثناء مروره فى موصل.



رابعًا قانون أوم

* تستخدم الدائرة الموضحة بالشكل **لإيجاد العلاقة بين فرق الجهد (V) بين طرفى المقاومة (R) وشدة التيار المار فيها (I)** :



١ **نقوم** بتغيير فرق الجهد بين طرفى المقاومة (R) من خلال تغيير قيمة الجزء المأخوذ من الريوستات فنلاحظ تغير شدة التيار المار بالدائرة.

٢ **نرسم** العلاقة البيانية بين (V) على المحور الرأسى و(I) على المحور الأفقى، فنجد أنها تمثل بخط مستقيم يمر بنقطة الأصل ميله مقدار ثابت يعبر عن قيمة المقاومة الكهربية (R).

$$\text{slope} = \frac{\Delta V}{\Delta I} = R$$

أى أن شدة التيار المار فى المقاومة تتناسب طرديًا مع فرق الجهد الكهربى بين طرفيها عند ثبوت درجة الحرارة، وهو ما يعرف **بقانون أوم**

$$\therefore \quad V = IR$$

قانون أوم

عند ثبوت درجة حرارة موصل فإن شدة التيار المار فى الموصل تتناسب طرديًا مع فرق الجهد بين طرفيه.

* من قانون أوم يمكن تعريف المقاومة الكهربية لموصل كما يلى :

المقاومة الكهربية لموصل

خارج قسمة فرق الجهد بين طرفى الموصل وشدة التيار المار فيه.

* تقاس المقاومة الكهربية بوحدة الأوم (Ω) وتكافئ فولت/أمبير (V/A).

الأوم

مقاومة موصل يسمح بمرور تيار شدته 1 A عندما يكون فرق الجهد بين طرفيه 1 V

ملاحظات

* **يمكن حساب مقاومة موصل بدلالة كل من فرق الجهد بين طرفيه وشدة التيار المار فيه إلا أن مقاومة الموصل لا تعتمد على أى منهما حيث إنها تعتمد على طبيعة وأبعاد الموصل عند درجة حرارة معينة.**

* **يؤدى ارتفاع درجة حرارة الفلز إلى زيادة مقاومته الكهربية،**

لأن ارتفاع درجة حرارة الفلز يعمل على زيادة سعة وسرعة اهتزاز ذراته وبالتالى زيادة معدل تصادم إلكترونات التيار الكهربى مع ذرات الفلز فتزداد الممانعة لسريان الإلكترونات خلاله فتزداد مقاومته الكهربية.

* **يوجد نوعان من المقاومات الكهربية :**

١- **مقاومة أومية،** تتغير فيها شدة التيار المار فى المقاومة بانتظام مع تغير فرق الجهد بين طرفيها تبعًا لقانون أوم.

٢- **مقاومة غير أومية،** لا تتبع قانون أوم.

* **توجد ممانعة لمرور الشحنات داخل البطارية أو العمود الكهربى تسمى المقاومة الداخلية للبطارية (r).**

مثال

موصل كهربى تمر خلال مقطع منه كمية من الشحنة الكهربية مقدارها 3.6 C خلال دقيقة، إذا كان فرق الجهد بين طرفيه 300 V، **احسب** مقاومته.

الحل

$Q = 3.6\ C$ | $t = 60\ s$ | $V = 300\ V$ | $R = ?$

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{3.6}{60} = 0.06\ A$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{300}{0.06} = 5000\ \Omega$$

3 اختبر نفسك

مجاب عنها

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

سلك يمر خلال مقطع منه 2×10^{19} إلكترون خلال الثانية الواحدة عندما يكون فرق الجهد بين طرفيه 64 V، فإن مقاومة السلك تساوى .... (علمًا بأن : $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C)

(أ) 5 Ω (ب) 10 Ω (جـ) 15 Ω (د) 20 Ω

خامسًا الطاقة الكهربية والقدرة الكهربية

	الطاقة الكهربية (W)	القدرة الكهربية (P_w)
	الشغل المبذول بواسطة الشحنات الكهربية والذى يتحول إلى صور أخرى من الطاقة فى الدائرة الكهربية	الطاقة الكهربية المستهلكة خلال ثانية واحدة
العلاقة الرياضية	$W = P_w t = VQ = VIt = I^2Rt = \frac{V^2 t}{R}$	$P_w = \frac{W}{t} = \frac{VQ}{t} = VI = I^2R = \frac{V^2}{R}$
وحدة القياس	الجول وتكافئ ڤولت . كولوم	الوات وتكافئ جول/ثانية

مما سبق نستنتج أن :

- **القدرة الكهربية المستهلكة فى موصل تزداد بزيادة شدة التيار المار فى الموصل.**

لأن القدرة الكهربية المستهلكة فى موصل تتناسب طرديًا مع مربع شدة التيار المار فى الموصل عند ثبوت مقاومته تبعًا للعلاقة ($P_w = I^2R$).

مثال

إذا كان فرق الجهد بين طرفى مصباح كهربى 75 V وشدة التيار المار خلاله 1.5 A، **احسب** القدرة الكهربية للمصباح والطاقة الكهربية المستهلكة عند تشغيله لمدة 10 min

الحل

V = 75 V | I = 1.5 A | t = 10 min | P_w = ? | W = ?

$P_w = VI = 75 \times 1.5 = \mathbf{112.5\ W}$

$W = P_w t = 112.5 \times 10 \times 60 = \mathbf{6.75 \times 10^4\ J}$

اختبـر نفسـك

4 اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

الشكل البيانى المقابل يعبر عن العلاقة بين القدرة المستهلكة فى موصل ومربع شدة التيار المار فيه، فتكون قيمة مقاومة الموصل ....

(أ) $2\ \Omega$

(ب) $5\ \Omega$

(ج) $50\ \Omega$

(د) $0.5\ \Omega$

حساب المقاومة الكهربية لموصل

* من خلال التجارب العملية اتضح أن المقاومة الكهربية لموصل :

- تتناسب طرديًا مع طول الموصل : $R \propto \ell$

- تتناسب عكسيًا مع مساحة مقطع الموصل : $R \propto \frac{1}{A}$

$\therefore R \propto \frac{\ell}{A}$, $\therefore R = \text{constant} \times \frac{\ell}{A}$

$$\therefore \mathbf{R = \rho_e \frac{\ell}{A}}$$

حيث : (ρ_e) المقاومة النوعية لمادة الموصل وهى كمية فيزيائية ثابتة للمادة الواحدة عند ثبوت درجة الحرارة، والجدول التالى يوضح قيم المقاومة النوعية لبعض المواد عند درجة حرارة 20 °C :

المادة	الفضة	النحاس	الألومنيوم	الحديد
المقاومة النوعية بوحدة (Ω.m)	1.59×10^{-8}	1.7×10^{-8}	2.82×10^{-8}	10×10^{-8}

ملاحظات

* **يمكن استخدام الريوستات للتحكم فى شدة التيار المار فى الدائرة الكهربية،**

لأن تغير موضع الزالق يغير طول سلك الريوستات الذى يمر به التيار فتتغير المقاومة المأخوذة من الريوستات حيث $(R \propto \ell)$ فتتغير شدة التيار المار فى الدائرة حيث $\left(I \propto \frac{1}{R}\right)$.

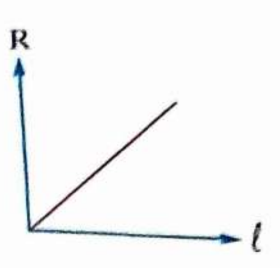
* **عند دراسة العلاقة بين كمية فيزيائية وأحد العوامل المؤثرة عليها يلزم تثبيت العوامل الأخرى.**

العوامل التى تتوقف عليها المقاومة الكهربية لموصل

$$R = \frac{\rho_e \ell}{A}$$

١ طول الموصل :

تتناسب المقاومة الكهربية لموصل تناسبًا طرديًا مع طول الموصل.



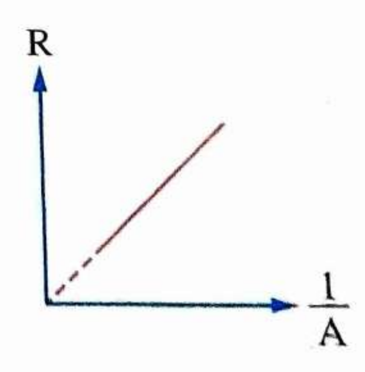
$$slope = \frac{\Delta R}{\Delta \ell} = \frac{\rho_e}{A}$$

٢ المقاومة النوعية لمادة الموصل (تعتمد على نوع مادة الموصل ودرجة حرارته)



٣ مساحة مقطع الموصل :

تتناسب المقاومة الكهربية لموصل تناسبًا **عكسيًا** مع مساحة مقطع الموصل.

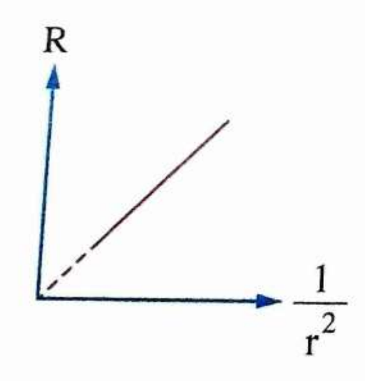


$$slope = \frac{\Delta R}{\Delta\left(\frac{1}{A}\right)} = \rho_e \ell$$

أو

نصف قطر الموصل :

تتناسب المقاومة الكهربية لموصل تناسبًا **عكسيًا** مع مربع نصف قطر الموصل.



$$slope = \frac{\Delta R}{\Delta\left(\frac{1}{r^2}\right)} = \frac{\rho_e \ell}{\pi}$$

المقاومة النوعية لمادة موصل

* يمكن حساب المقاومة النوعية لمادة موصل من العلاقة :

$$\rho_e = \frac{RA}{l}$$

وبالتالى يمكن تعريف المقاومة النوعية لمادة موصل كما يلى :

المقاومة النوعية لمادة موصل (ρ_e)

تقدر بمقاومة موصل من تلك المادة طوله 1 m ومساحة مقطعه $1\ m^2$ عند درجة حرارة معينة.

تقاس المقاومة النوعية بوحدة أوم.متر ($\Omega.m$)

* العوامل التى تتوقف عليها المقاومة النوعية لمادة موصل :

هى

1. نوع مادة الموصل
2. درجة حرارة الموصل (تزداد المقاومة النوعية لمادة الموصل بارتفاع درجة حرارته)

مثال

احسب نصف قطر سلك منتظم المقطع من النحاس طوله 25 m ومقاومته $0.1\ \Omega$ (علمًا بأن : المقاومة النوعية للنحاس $1.68 \times 10^{-8}\ \Omega.m$).

الحل

$l = 25\ m$ | $R = 0.1\ \Omega$ | $\rho_e = 1.68 \times 10^{-8}\ \Omega.m$ | $r = ?$

$$R = \frac{\rho_e l}{A} = \frac{\rho_e l}{\pi r^2}$$

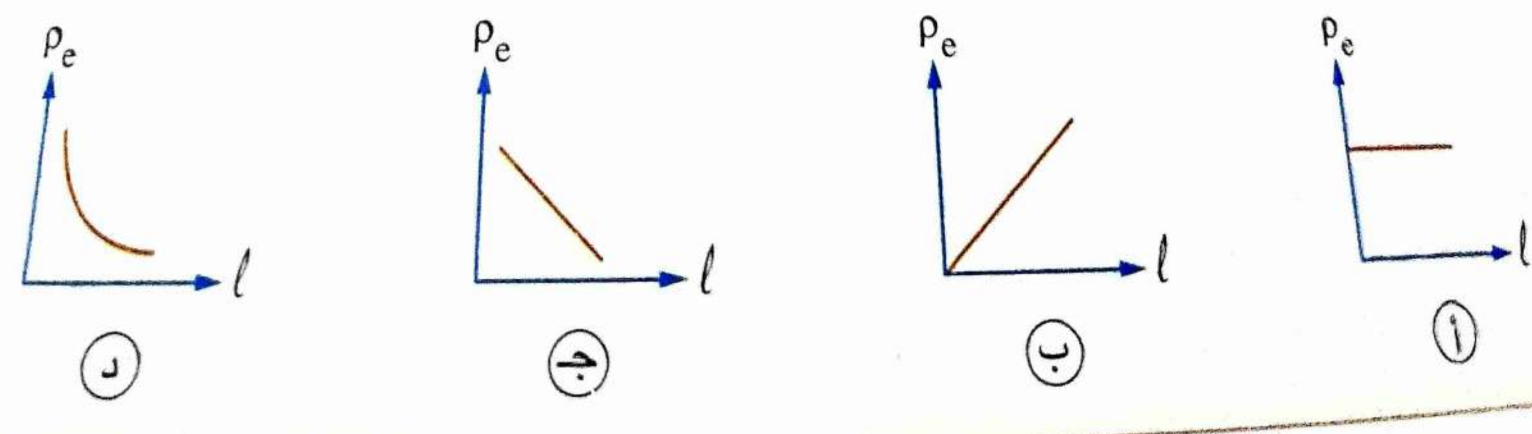
$$r = \sqrt{\frac{\rho_e l}{\pi R}} = \sqrt{\frac{1.68 \times 10^{-8} \times 25}{\frac{22}{7} \times 0.1}} = \mathbf{1.16 \times 10^{-3}\ m}$$

5 اختبر نفسك

مجاب عنه

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

أى الأشكال التالية يمثل العلاقة البيانية بين المقاومة النوعية لمادة موصل فلزى وطول الموصل ؟



التوصيلية
* تعبير التو...
المقاومة ال...
* يمكن حس...
وبالتالى يم...
التوصيلية
مقلوب ا...
مقلوب
تقاس
* الع...

التوصيلية الكهربية لمادة موصل

* تعبر التوصيلية الكهربية لمادة موصل عن مدى قدرة هذه المادة على توصيل التيار الكهربى وتساوى مقلوب المقاومة النوعية لمادة الموصل.

* يمكن حساب التوصيلية الكهربية (σ) لمادة موصل من العلاقة :

$$\sigma = \frac{1}{\rho_e} = \frac{\ell}{RA} = \frac{\ell}{R\pi r^2}$$

وبالتالى يمكن تعريف التوصيلية الكهربية كما يلى :

التوصيلية الكهربية (σ)

مقلوب المقاومة النوعية لمادة موصل.

أو

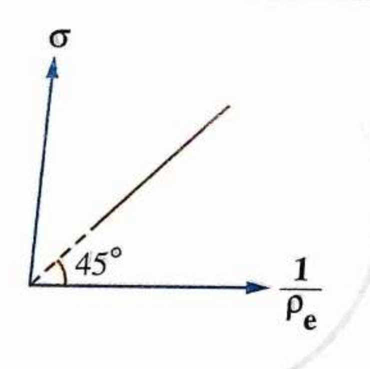
مقلوب مقاومة موصل طوله 1 m ومساحة مقطعه $1\ m^2$ عند درجة حرارة معينة.

تقاس التوصيلية الكهربية لمادة موصل بوحدة أوم$^{-1}$.متر$^{-1}$ $(\Omega^{-1}.m^{-1})$

* العوامل التى تتوقف عليها التوصيلية الكهربية لمادة موصل :

هى

1. نوع مادة الموصل
2. درجة حرارة الموصل (تقل التوصيلية الكهربية لمادة الموصل بارتفاع درجة حرارته)



* التمثيل البيانى للعلاقة بين المقاومة النوعية والتوصيلية الكهربية عند رسمهما بنفس مقياس الرسم :

$$\text{slope} = \sigma \rho_e = 1$$

ملاحظات

* **يعتبر كل من المقاومة النوعية والتوصيلية الكهربية للمادة خاصية فيزيائية مميزة لها،**

لأن كل منهما يتوقف فقط على نوع المادة عند درجة حرارة معينة.

* **تصنع كابلات نقل التيار الكهربى من النحاس،**

لأن المقاومة النوعية للنحاس صغيرة وبالتالى تكون مقاومة الكابلات المصنوعة منه صغيرة حيث $(R \propto \rho_e)$.

مثال (١) سلك طوله 50 m ونصف قطره 0.5 cm ومقاومته الكهربية 2 Ω، أوجد :

(أ) المقاومة النوعية لمادة السلك.

(ب) التوصيلية الكهربية لمادة السلك.

الحل

$\ell = 50$ m	$r = 0.5$ cm	$R = 2\ \Omega$	$\rho_e = ?$	$\sigma = ?$

(أ)

$$\rho_e = \frac{RA}{\ell} = \frac{R(\pi r^2)}{\ell} = \frac{2 \times \frac{22}{7} \times (0.5 \times 10^{-2})^2}{50}$$

$$= \mathbf{3.14 \times 10^{-6}\ \Omega.m}$$

(ب)

$$\sigma = \frac{1}{\rho_e} = \frac{1}{3.14 \times 10^{-6}}$$

$$= \mathbf{3.18 \times 10^{5}\ \Omega^{-1}.m^{-1}}$$

مثال (٢) سلك طوله 20 m ومساحة مقطعه $0.2\ mm^2$ فإذا كان فرق الجهد بين طرفيه 10 V وشدة التيار المار فيه 0.5 A، احسب :

(أ) المقاومة النوعية لمادة السلك.

(ب) التوصيلية الكهربية لمادة السلك.

الحل

$\ell = 20$ m	$A = 0.2 \times 10^{-6}\ m^2$	$V = 10$ V	$I = 0.5$ A	$\rho_e = ?$	$\sigma = ?$

(أ)

$$R = \frac{V}{I} = \frac{10}{0.5} = 20\ \Omega$$

$$\rho_e = \frac{RA}{\ell} = \frac{20 \times 0.2 \times 10^{-6}}{20}$$

$$= \mathbf{2 \times 10^{-7}\ \Omega.m}$$

(ب)

$$\sigma = \frac{1}{\rho_e} = \frac{1}{2 \times 10^{-7}}$$

$$= \mathbf{5 \times 10^{6}\ \Omega^{-1}.m^{-1}}$$

إرشــاد

* إذا تم لف السلك على شكل ملف دائرى عدد لفاته N ونصف قطره $r_{(ملف)}$: $\ell_{(سلك)} = 2\pi r_{(ملف)} N$

مثــال

سلك مساحة مقطعه $10^{-6}\ m^2$ ومقاومة مادته النوعية $10^{-7}\ \Omega.m$ ملفوف على شــكل ملــف دائــرى نصف قطـره $\frac{7}{22}\ m$ وعـدد لفاتـه 100 لفـة، وصل مصدر كهربى بطرفى السـلك فـكان فرق الجهـد بينهما 50 V.
احسب شدة التيار المار بالسلك.

الحـــل

$A = 10^{-6}\ m^2$	$\rho_e = 10^{-7}\ \Omega.m$	$r_{(ملف)} = \frac{7}{22}\ m$	$N = 100$	$V = 50\ V$	$I = ?$

$$\ell_{(سلك)} = 2\pi r_{(ملف)} N = 2 \times \frac{22}{7} \times \frac{7}{22} \times 100 = 200\ m$$

$$R = \frac{\rho_e \ell}{A} = \frac{10^{-7} \times 200}{10^{-6}} = 20\ \Omega$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{50}{20} = \mathbf{2.5\ A}$$

إرشــاد

* لتعيين قيمة المقاومة R بدلالة الكتلة والحجم وكثافة المادة :

(حيث : $V_{ol} = A\ell$ ، $\rho = \frac{m}{V_{ol}}$)

$$R = \frac{\rho_e \ell}{A} = \frac{\rho_e \ell^2}{V_{ol}} = \frac{\rho_e \ell^2 \rho}{m}$$

$$R = \frac{\rho_e \ell}{A} = \frac{\rho_e V_{ol}}{A^2} = \frac{\rho_e m}{\rho A^2}$$

مثــال

سلك من النحاس طوله 50 cm وكثافة مادته $8600\ kg/m^3$ ومقاومته $0.15\ \Omega$، **احسب** كتلة السلك.
(علمًا بأن : المقاومة النوعية للنحاس = $1.79 \times 10^{-8}\ \Omega.m$)

الحـــل

$\ell = 50\ cm$	$\rho = 8600\ kg/m^3$	$R = 0.15\ \Omega$	$\rho_e = 1.79 \times 10^{-8}\ \Omega.m$	$m = ?$

$$R = \frac{\rho_e \ell}{A} = \frac{\rho_e \ell^2}{V_{ol}} = \frac{\rho_e \ell^2 \rho}{m}$$

$$m = \frac{\rho_e \ell^2 \rho}{R} = \frac{1.79 \times 10^{-8} \times (50 \times 10^{-2})^2 \times 8600}{0.15} = \mathbf{2.57 \times 10^{-4}\ kg}$$

ثلثة إرشادات

* المقارنة بين مقاومتى موصلين :

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{(\rho_e)_1 \, \ell_1 \, A_2}{(\rho_e)_2 \, \ell_2 \, A_1} = \frac{(\rho_e)_1 \, \ell_1 \, r_2^2}{(\rho_e)_2 \, \ell_2 \, r_1^2} = \frac{(\rho_e)_1 \, \rho_1 \, \ell_1^2 \, m_2}{(\rho_e)_2 \, \rho_2 \, \ell_2^2 \, m_1}$$

مثال (١)

سلك طوله 30 m ومساحة مقطعه 0.5 cm^2 ومقاومته $20 \ \Omega$، **كم** تكون مقاومة سلك آخر من نفس المادة طوله 10 m ومساحة مقطعه 0.3 cm^2 ؟

الحل

$\ell_1 = 30$ m	$A_1 = 0.5 \text{ cm}^2$	$R_1 = 20 \ \Omega$	$\ell_2 = 10$ m	$A_2 = 0.3 \text{ cm}^2$	$R_2 = ?$

$$\because R = \frac{\rho_e \, \ell}{A}$$

∵ السلك من نفس المادة،

$$\therefore (\rho_e)_1 = (\rho_e)_2 \quad , \quad \frac{R_1}{R_2} = \frac{\ell_1 \, A_2}{\ell_2 \, A_1}$$

$$\frac{20}{R_2} = \frac{30 \times 0.3}{10 \times 0.5} \quad , \quad R_2 = 11.11 \ \Omega$$

مثال (٢)

سلكان من النحاس طول السلك الأول 10 cm وكتلته 0.1 kg وطول السلك الثانى 40 cm وكتلته 0.2 kg، **احسب** نسبة مقاومة السلك الأول إلى مقاومة السلك الثانى.

الحل

$\ell_1 = 10$ cm	$m_1 = 0.1$ kg	$\frac{R_1}{R_2} = ?$
$\ell_2 = 40$ cm	$m_2 = 0.2$ kg	

$$\because R = \frac{\rho_e \, \ell^2 \rho}{m}$$

∵ السلكان من نفس المادة.

$$\therefore (\rho_e)_1 = (\rho_e)_2 \quad , \quad \rho_1 = \rho_2$$

$$\therefore \frac{R_1}{R_2} = \frac{\ell_1^2 \, m_2}{\ell_2^2 \, m_1} = \frac{10^2 \times 0.2}{40^2 \times 0.1} = \frac{1}{8}$$

مثال (٣)

سلكان لهما نفس الطول أحدهما من النحاس والآخر من الحديد فرق الجهد بين طرفيهما متساوى ويمر بكل منهما نفس التيار، احسب النسبة بين نصفى قطريهما $(\frac{r_{Cu}}{r_{Fe}})$

(علمًا بأن : $(\rho_e)_{Fe} = 9.7 \times 10^{-8}\ \Omega.m$ ، $(\rho_e)_{Cu} = 1.7 \times 10^{-8}\ \Omega.m$).

الحـــل

$l_{Cu} = l_{Fe}$ | $V_{Cu} = V_{Fe}$ | $I_{Cu} = I_{Fe}$ | $(\rho_e)_{Cu} = 1.7 \times 10^{-8}\ \Omega.m$

$(\rho_e)_{Fe} = 9.7 \times 10^{-8}\ \Omega.m$ | $\frac{r_{Cu}}{r_{Fe}} = ?$

$\because R = \frac{V}{I}$ $\quad$ $\therefore R_{Cu} = R_{Fe}$

$$(\frac{\rho_e l}{\pi r^2})_{Cu} = (\frac{\rho_e l}{\pi r^2})_{Fe} \quad , \quad \frac{(\rho_e)_{Cu}}{r^2_{Cu}} = \frac{(\rho_e)_{Fe}}{r^2_{Fe}}$$

$$\frac{r^2_{Cu}}{r^2_{Fe}} = \frac{(\rho_e)_{Cu}}{(\rho_e)_{Fe}} = \frac{1.7 \times 10^{-8}}{9.7 \times 10^{-8}} = \frac{17}{97} \quad , \quad \frac{r_{Cu}}{r_{Fe}} = 0.42$$

إرشاد

* إذا أُعيد تشكيل سلك بحيث يتغير كل من طوله ومساحة مقطعه فإن :

$$(V_{ol})_1 = (V_{ol})_2 \quad , \quad A_1 l_1 = A_2 l_2 \quad , \quad \frac{l_1}{l_2} = \frac{A_2}{A_1}$$

$\because$ المقاومة النوعية ثابتة.

$$\therefore \frac{R_1}{R_2} = \frac{l_1 A_2}{l_2 A_1} = \frac{l_1^2}{l_2^2} = \frac{A_2^2}{A_1^2} = \frac{r_2^4}{r_1^4}$$

مثال

سُحب سلك مقاومته $5\ \Omega$ فزاد طوله للضعف، احسب مقاومة السلك بعد السحب.

الحـــل

$l_2 = 2 l_1$ | $R_1 = 5\ \Omega$ | $R_2 = ?$

$$\therefore \frac{R_1}{R_2} = \frac{l_1^2}{l_2^2} \quad , \quad \frac{5}{R_2} = \frac{l_1^2}{(2 l_1)^2} = \frac{l_1^2}{4 l_1^2} = \frac{1}{4} \quad , \quad \therefore R_2 = 20\ \Omega$$

إرشاد

* للمقارنة بين المقاومة النوعية لمادتى موصلين مختلفين :

$$\frac{(\rho_e)_1}{(\rho_e)_2} = \frac{R_1 A_1 l_2}{R_2 A_2 l_1} = \frac{R_1 r_1^2 l_2}{R_2 r_2^2 l_1}$$

مثال

سلكان من مادتين مختلفتين طول الأول ثلاث أمثال طول الثانى ونصف قطر الأول ثلث نصف قطر الثانى ومقاومة الأول تساوى مقاومة الثانى، احسب النسبة بين المقاومة النوعية للسلكين.

الحل

$\ell_1 = 3\,\ell_2$ | $r_1 = \frac{1}{3}\,r_2$ | $R_1 = R_2$ | $\frac{(\rho_e)_1}{(\rho_e)_2} = ?$

$$\rho_e = \frac{RA}{\ell} = \frac{R\pi r^2}{\ell} \quad , \quad \frac{(\rho_e)_1}{(\rho_e)_2} = \frac{r_1^2\,\ell_2}{r_2^2\,\ell_1} = \frac{(\frac{1}{3}\,r_2)^2 \times \ell_2}{r_2^2 \times 3\,\ell_2} = \frac{1}{27}$$

6 اختبر نفسك

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

1 موصل منتظم المقطع طوله 4.5 m ومقاومته 6 Ω وموصل آخر من نفس نوع مادة الموصل الأول طوله 1.5 m ومساحة مقطعه ربع مساحة مقطع الموصل الأول، فإن مقاومة الموصل الثانى تساوى ....

(أ) 12 Ω   (ب) 10 Ω   (جـ) 8 Ω   (د) 4 Ω

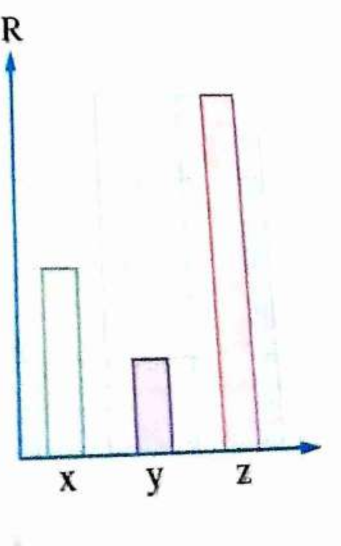
2 سلكان نحاسيان الأول نصف قطره r ومعامل التوصيل الكهربى له σ_1 والثانى نصف قطره 2 r ومعامل التوصيل الكهربى له σ_2، فعند ثبوت درجة الحرارة أى العلاقات الآتية صحيحة ؟

(أ) $\sigma_1 = 2\,\sigma_2$ (ب) $\sigma_1 = 4\,\sigma_2$ (جـ) $\sigma_1 = \sigma_2$ (د) $\sigma_1 = \frac{\sigma_2}{4}$

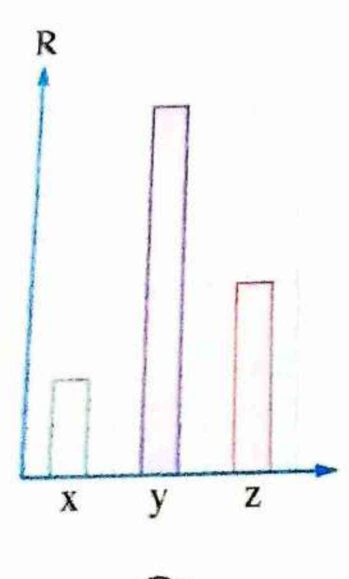
3 ثلاثة أسلاك نحاسية x ، y ، z أطوالها 1 m ، 4 m ، 2 m على الترتيب، فإذا كانت مساحة مقطع هذه الأسلاك متساوية فأى من الأشكال التالية يعبر عن نسب مقاومة الأسلاك الثلاثة ؟



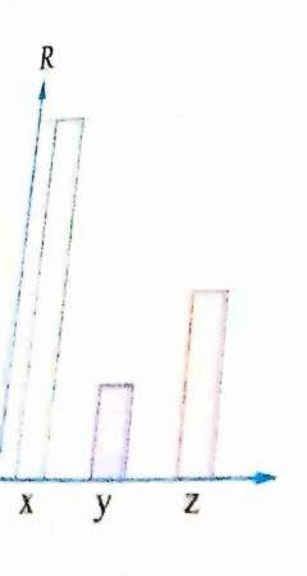
(أ)



(ب)




(جـ)



(د)

الفصل 1

الدرس الثانى

توصيل المقاومات

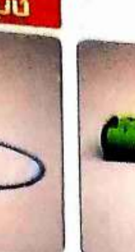


فى هذا الدرس سوف نتعرف :

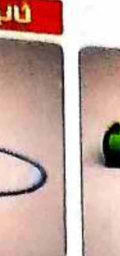
- توصيل المقاومات على التوالى.
- توصيل المقاومات على التوازى.

* يمكن توصيل عدة مقاومات فى دائرة كهربية بطريقتين هما :

أولًا التوصيل على التوالى



ثانيًا التوصيل على التوازى



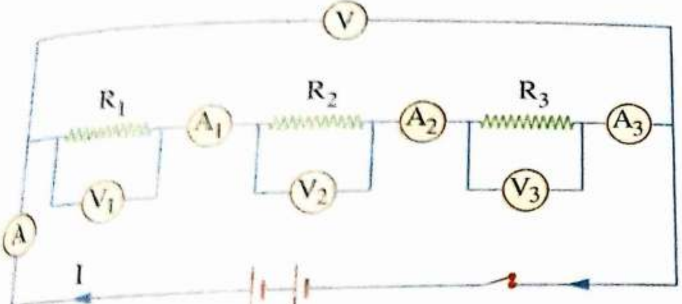
أولًا توصيل المقاومات على التوالى

الغرض منه

الحصول على مقاومة كبيرة من مجموعة من المقاومات الصغيرة حيث تكون قيمة المقاومة المكافئة للمجموعة أكبر من قيمة أكبر مقاومة فى المجموعة.

طريقة التوصيل

توصل المقاومات بحيث تكون مسار واحد متصل أمام التيار الكهربى المار فى دائرة كهربية كما هو موضح بالشكل.



شدة التيار الكهربى

عند قياس شدة التيار الكهربى المار فى كل مقاومة نجد أنها متساوية وتساوى شدة التيار المار فى الدائرة :

$$I = I_1 = I_2 = I_3$$

فرق الجهد الكهربى

عند قياس فرق الجهد الكلى بين طرفى المجموعة نجد أنه يساوى مجموع فروق الجهد بين طرفى المقاومات بالدائرة :

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

ويلاحظ أن فرق الجهد الكلى يتجزأ عبر المقاومات إلى قيم تتناسب طرديًا مع قيمة المقاومة أى يكون فرق الجهد بين طرفى المقاومة الأكبر أكبر من فرق الجهد بين طرفى المقاومة الأصغر.

∴ عند ثبوت I ⟵ $V \propto R$

أى أن $\frac{V_1}{V_2} = \frac{R_1}{R_2}$

المقاومة المكافئة ($\grave{R}$)

من قانون أوم :

$\because V = IR$

$\therefore V_1 = IR_1 \quad , \quad V_2 = IR_2 \quad , \quad V_3 = IR_3$

$\because V = V_1 + V_2 + V_3$

$\therefore I\grave{R} = IR_1 + IR_2 + IR_3$

$$\therefore \grave{R} = R_1 + R_2 + R_3$$

أى أن المقاومة المكافئة لمجموعة مقاومات متصلة على التوالى تساوى مجموع هذه المقاومات.

* إذا كانت المقاومات المتصلة على التوالى متساوية وقيمة كل منها R وعددها N فإن : $\grave{R} = NR$

* وهكذا يمكن أن نفسر زيادة مقاومة الموصل بزيادة طوله بأن زيادة طول الموصل تعتبر بمثابة إضافة مقاومات على التوالى فتزداد مقاومته.

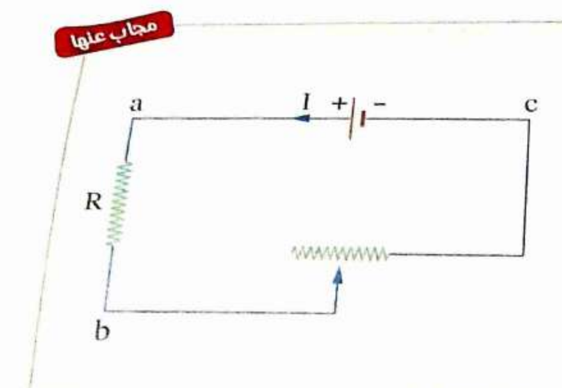
7 اختبر نفسك

مجاب عنها



اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

فى الدائرة الكهربية الموضحة بالشكل عند زيادة المقاومة المتغيرة فإن شدة التيار المار فى الدائرة ....



(أ) تقل عند النقطة c وتظل ثابتة عند النقطة a

(ب) تكون عند النقطة b أكبر من تلك عند النقطة c

(جـ) تظل دون تغيير عند جميع النقاط

(د) تقل إلى نفس القيمة عند جميع النقاط

مثال

ثلاث مقاومات $25\ \Omega$, $70\ \Omega$, $85\ \Omega$ متصلة على التوالى مع بطارية القوة الدافعة الكهربية لها $45\ V$ مهملة المقاومة الداخلية، **احسب :**

(أ) المقاومة المكافئة لهذه المقاومات.

(ب) شدة التيار الكهربى المار فى الثلاث مقاومات.

(جـ) فرق الجهد عبر كل مقاومة.

الحـــل

$R_1 = 25\ \Omega$ | $R_2 = 70\ \Omega$ | $R_3 = 85\ \Omega$ | $V_B = 45\ V$

$\grave{R} = ?$ | $I = ?$ | $V_1 = ?$ | $V_2 = ?$ | $V_3 = ?$

(أ) $\grave{R} = R_1 + R_2 + R_3 = 25 + 70 + 85 = 180\ \Omega$

(ب) ∵ الثلاث مقاومات متصلة على التوالى.

∴ شدة التيار المار فى كل منها = شدة التيار الكلى المار فى الدائرة.

$$I = \frac{V_B}{R} = \frac{45}{180} = \mathbf{0.25\ A}$$

(جـ)

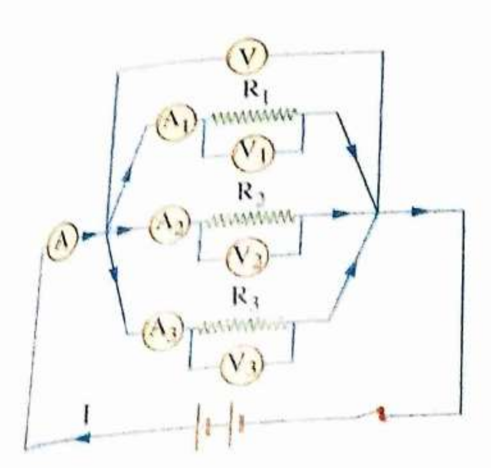
$$V_1 = IR_1 = 0.25 \times 25 = \mathbf{6.25\ V}$$

$$V_2 = IR_2 = 0.25 \times 70 = \mathbf{17.5\ V} \quad , \quad V_3 = IR_3 = 0.25 \times 85 = \mathbf{21.25\ V}$$

ثانيًا توصيل المقاومات على التوازى

الغرض منه

الحصول على مقاومة صغيرة من مجموعة من المقاومات الكبيرة حيث تكون قيمة المقاومة المكافئة للمجموعة أقل من قيمة أصغر مقاومة فى المجموعة.



طريقة التوصيل

توصل المقاومات فى دائرة كهربية بحيث يكون لجميع المقاومات نفس البداية ونفس النهاية كما هو موضح بالشكل.

فرق الجهد الكهربى

عند قياس فرق الجهد بين طرفى كل مقاومة نجد أنه متساوى ويساوى فرق الجهد بين طرفى مجموعة المقاومات :

$$V = V_1 = V_2 = V_3$$

شدة التيار الكهربى

عند قياس شدة التيار الكلى (I) المار فى الدائرة نجد أنها تساوى مجموع شدة التيارات المارة فى جميع المقاومات :

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

ويلاحظ أن التيار الكهربى يتجزأ بين المقاومات إلى قيم تتناسب عكسيًا مع قيمة المقاومة أى يمر الجزء الأكبر من التيار فى المقاومة الأصغر.

∴ عند ثبوت V ⟵ $I \propto \frac{1}{R}$

أى أن $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$

المقاومة المكافئة ($\grave{R}$)

من قانون أوم :

$$\because I = \frac{V}{R}$$

$$\therefore I_1 = \frac{V}{R_1} \quad , \quad I_2 = \frac{V}{R_2} \quad , \quad I_3 = \frac{V}{R_3} \quad , \quad I = \frac{V}{\grave{R}}$$

$$\because I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$\therefore \frac{V}{\grave{R}} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3}$$

$$\therefore \frac{1}{\grave{R}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

أى أن مقلوب المقاومة المكافئة لمجموعة مقاومات متصلة على التوازى تساوى مجموع مقلوب المقاومات.

* إذا كان هناك مقاومتان فقط متصلتين على التوازى، فإن :

$$\grave{R} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

* إذا كانت المقاومات المتصلة على التوازى متساوية وقيمة كل منها R وعددها N، فإن :

$$\frac{1}{\grave{R}} = \frac{N}{R}$$

$$\therefore \grave{R} = \frac{R}{N}$$

مما سبق نستنتج أن :

- **يمكن أن نفسر صغر مقاومة موصل بزيادة مساحة مقطعه،**

بأن زيادة مساحة مقطع الموصل تعتبر بمثابة إضافة مقاومات على التوازى فتقل مقاومته.

- **توصل الأجهزة المنزلية على التوازى،**

حتى يعمل كل جهاز على فرق جهد المصدر الكهربى وبالتالى يمكن تشغيل كل جهاز بمفرده فإذا فصل أو تلف أى جهاز لا يؤثر على الأجهزة الأخرى، كما أن المقاومة المكافئة لها جميعًا تصبح صغيرة جدًا.

- **فى الدوائر الكهربية التى تحتوى على عدة مقاومات متصلة على التوازى تستخدم أسلاك سميكة عند طرفى المصدر الكهربى، بينما يمكن استخدام أسلاك أقل سُمكًا عند طرفى كل مقاومة،**

لأن شدة التيار تكون أكبر ما يمكن عند مدخل ومخرج التيار فتستخدم أسلاك سميكة حتى تكون مقاومتها صغيرة فلا تسخن ولا تنصهر، بينما يتجزأ التيار فى كل مقاومة على حدة فيمكن استخدام أسلاك أقل سُمكًا عند طرفى كل مقاومة.

عند زيادة عدد المقاومات المتصلة معًا (مصابيح مثلًا) مع مصدر كهربى مهمل المقاومة الداخلية فى حالة :

	توصيلها على التوالى	توصيلها على التوازى
المقاومة الكلية	تزداد	تقل
شدة تيار المصدر	تقل	تزداد
شدة التيار المار فى كل مقاومة	تقل (حيث إنها تساوى تيار المصدر)	لا تتغير (لثبوت فرق الجهد بين طرفى كل مقاومة وقيمة المقاومة)
فرق الجهد بين طرفى كل مقاومة	يقل لنقص شدة التيار المار فى كل مقاومة	لا يتغير لثبوت فرق الجهد بين طرفى المصدر
القدرة المستهلكة فى الدائرة	تقل لنقص شدة التيار الكلى	تزداد لزيادة شدة التيار الكلى
القدرة المستهلكة فى كل مقاومة	تقل لنقص شدة التيار المار فيها	لا تتغير لثبوت فرق الجهد بين طرفى كل مقاومة وقيمة كل مقاومة

مثال ١

من الدائرة المقابلة، **أوجد :**

(أ) المقاومة الكلية.

(ب) شدة التيار فى كل مقاومة.

(جـ) شدة التيار الكلى.

I_1 25 Ω, I_2 70 Ω, I_3 85 Ω, I, $V_B = 45$ V, $r = 0$

الحـــل

$R_1 = 25\ \Omega$	$R_2 = 70\ \Omega$	$R_3 = 85\ \Omega$	$V_B = 45$ V	$\grave{R} = ?$	$I_1 = ?$
$I_2 = ?$	$I_3 = ?$	$I = ?$			

(أ)

$$\frac{1}{\grave{R}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{25} + \frac{1}{70} + \frac{1}{85}$$

$$\grave{R} = 15.14\ \Omega$$

(ب)

$I_1 = \frac{V_B}{R_1} = \frac{45}{25} = \mathbf{1.8\ A}$

$I_2 = \frac{V_B}{R_2} = \frac{45}{70} = \mathbf{0.64\ A}$, $I_3 = \frac{V_B}{R_3} = \frac{45}{85} = \mathbf{0.53\ A}$

(جـ)

$I = \frac{V_B}{\grave{R}} = \frac{45}{15.14} = \mathbf{2.97\ A}$

حل آخر

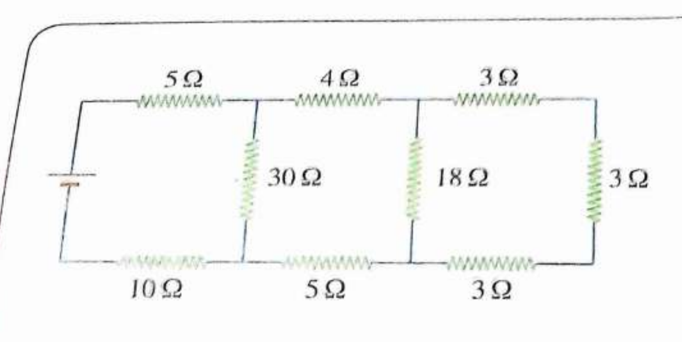
$I = I_1 + I_2 + I_3 = 1.8 + 0.64 + 0.53 = \mathbf{2.97\ A}$

حل آخر

$I = \frac{I_1 R_1}{\grave{R}} = \frac{1.8 \times 25}{15.14} = \mathbf{2.97\ A}$

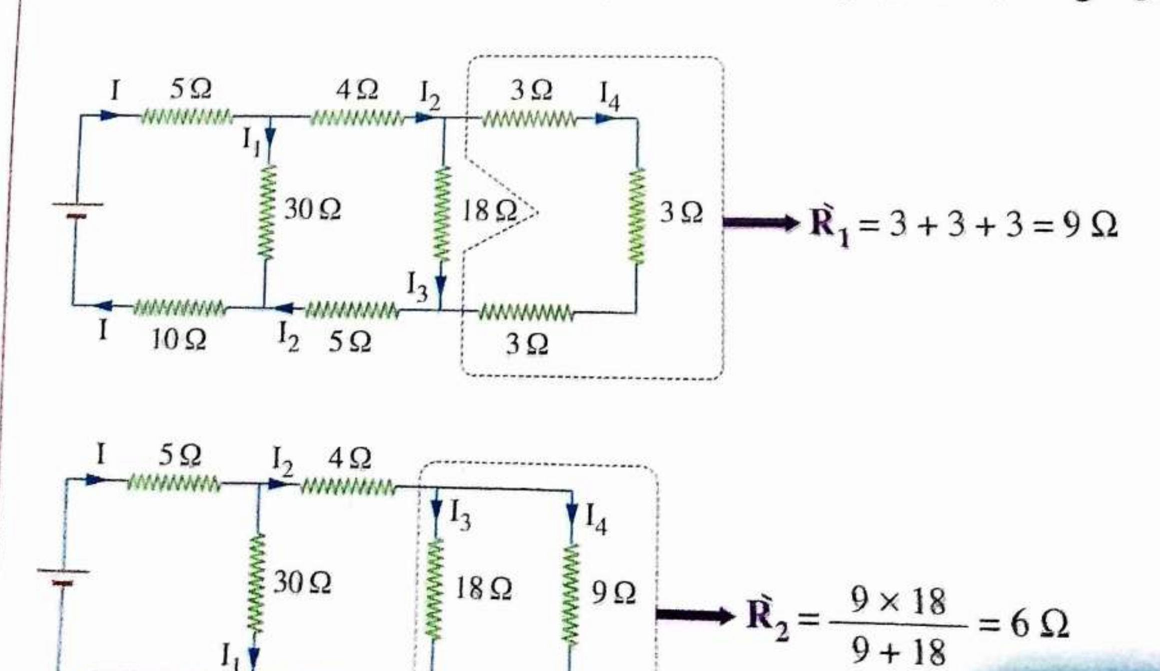
مثال ٢

أوجد قيمة المقاومة المكافئة للدائرة الموضحة.



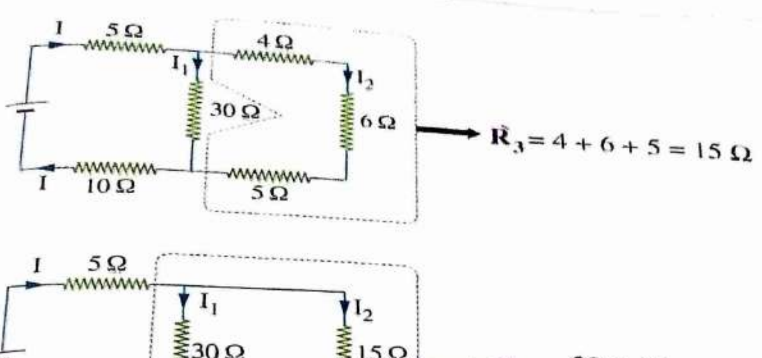
الحل

* قم بتوزيع التيار بدءًا من القطب الموجب للبطارية، حتى تصل مرة أخرى إلى قطبها السالب.
* طبق المبادئ التى تعلمتها عن طريقتى توصيل المقاومات (من حيث شدة التيار وفرق الجهد).

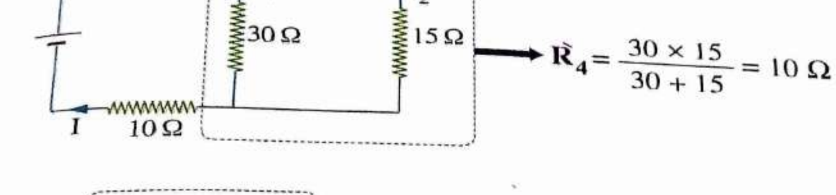


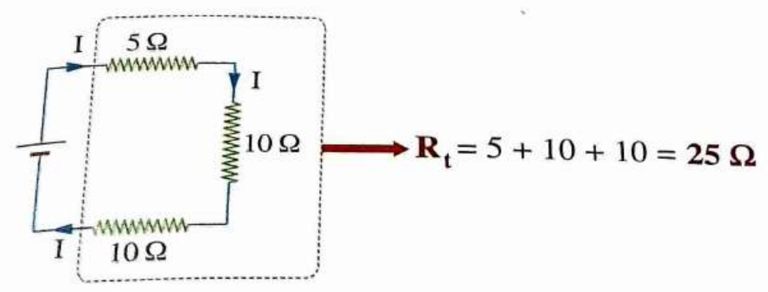
$\grave{R}_1 = 3 + 3 + 3 = 9\ \Omega$

$\grave{R}_2 = \frac{9 \times 18}{9 + 18} = 6\ \Omega$



$$\grave{R}_3 = 4 + 6 + 5 = 15\ \Omega$$





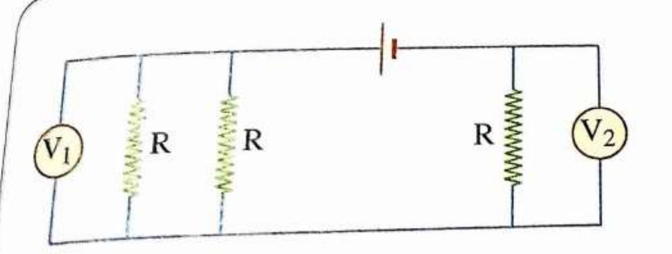
$$\grave{R}_4 = \frac{30 \times 15}{30 + 15} = 10\ \Omega$$

$$R_t = 5 + 10 + 10 = 25\ \Omega$$

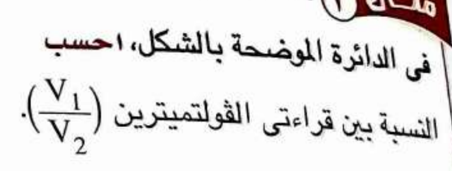
مثال ٣

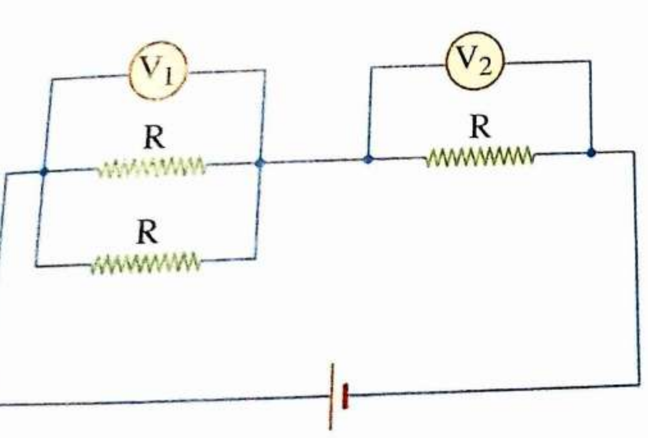
في الدائرة الموضحة بالشكل، **احسب**

النسبة بين قراءتى الڤولتميترين $\left(\frac{V_1}{V_2}\right)$.



الحل





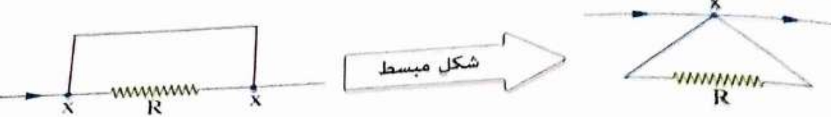
* من المهم عند التعامل مع فرق الجهد تحديد النقطتين المراد تعيين فرق الجهد بينهما، فى حالة توصيل المقاومات على التوالى يتوزع فرق الجهد بنسب المقاومات.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\grave{R}_1}{R} = \frac{0.5\,R}{R} = \frac{1}{2}$$

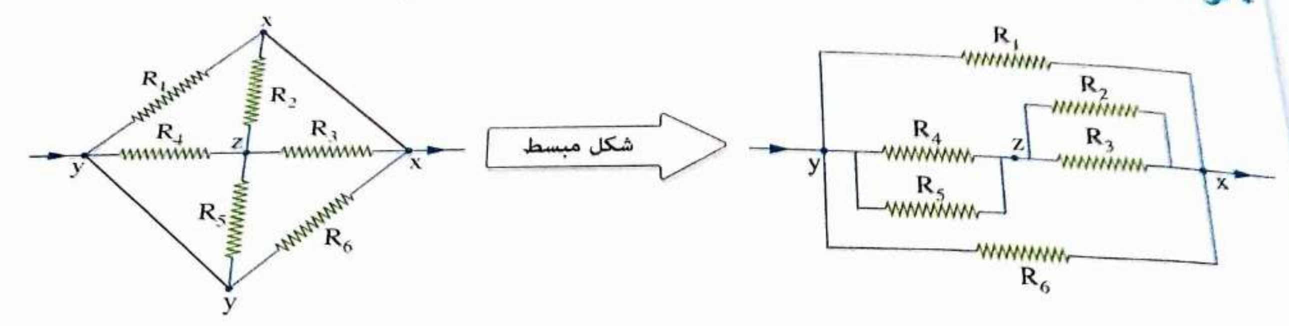
حيث $\grave{R}_1$ هى المقاومة المكافئة المتصلة بين طرفى الڤولتميتر V_1

إرشاد

* فى حالة وجود مقاومة طرفاها متصلان بسلك توصيل تهمل هذه المقاومة عند حساب المقاومة المكافئة لعدم وجود فرق جهد بين طرفيها.

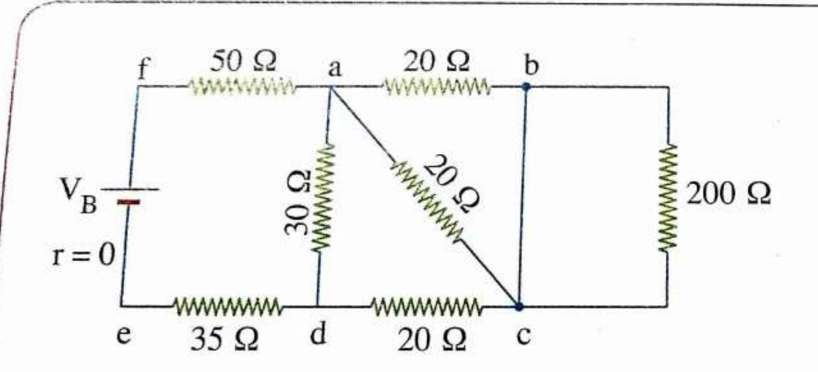


* فى حالة وجود سلك توصيل (عديم المقاومة) يتم اعتبار طرفى السلك نقطة واحدة.



* عند إعادة رسم دائرة كهربية تأكد من تطابق عدد المقاومات الموجودة بين كل نقطتين فى كل من الشكلين.

مثال (١)



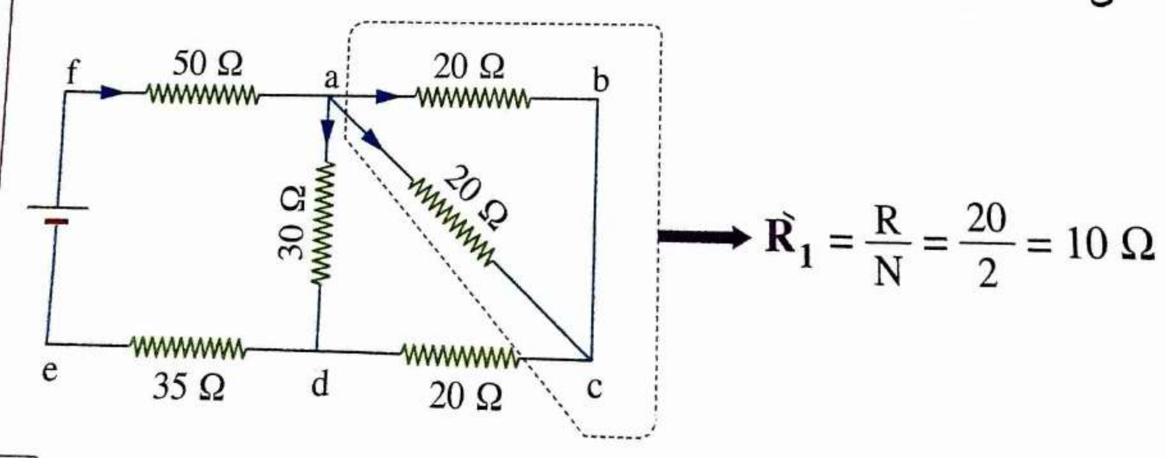
من الدائرة المقابلة، احسب :

(أ) المقاومة المكافئة.

(ب) شدة التيار الكلى المار فى الدائرة علمًا بأن $V_B = 100\ V$

الحل

(أ) لا يمر تيار فى المقاومة 200 Ω بينما يمر فى السلك bc لأن مقاومته مهملة وبذلك تلغى المقاومة 200 Ω ويكون شكل الدائرة كالتالى :



$$R'_1 = \frac{R}{N} = \frac{20}{2} = 10\ \Omega$$

$R_2 = 10 + 20 = 30\ \Omega$

$R_3 = \frac{30}{2} = 15\ \Omega$

$\grave{R} = 15 + 50 + 35 = 100\ \Omega$

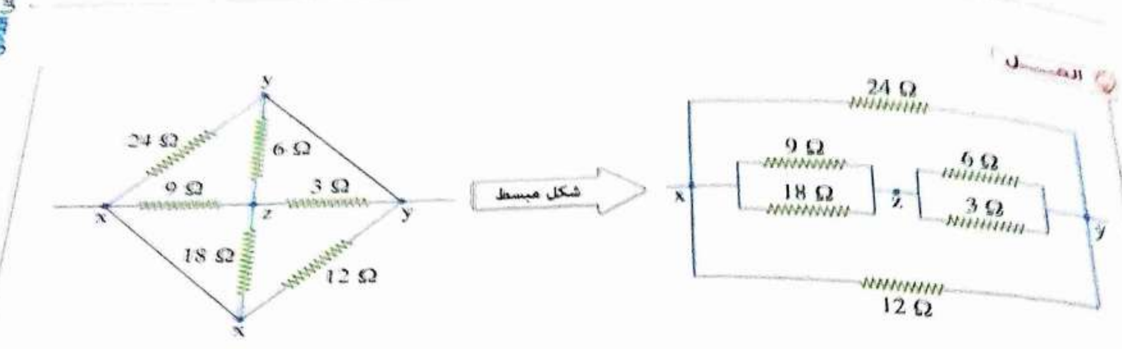
(ب) $I = \frac{V_B}{\grave{R}} = \frac{100}{100} = 1\ A$

مثال ٢

من الدائرة الموضحة،

احسب قيمة المقاومة المكافئة.

الحـــل



* المقاومتان Ω 9 ، Ω 18 متصلتان على التوازى :

$$\acute{R}_1 = \frac{9 \times 18}{9 + 18} = 6\ \Omega$$

* المقاومتان Ω 6 ، Ω 3 متصلتان على التوازى :

$$\acute{R}_2 = \frac{6 \times 3}{6 + 3} = 2\ \Omega$$

* المقاومتان $\acute{R}_1$ ، $\acute{R}_2$ متصلتان على التوالى :

$$\acute{R}_3 = 6 + 2 = 8\ \Omega$$

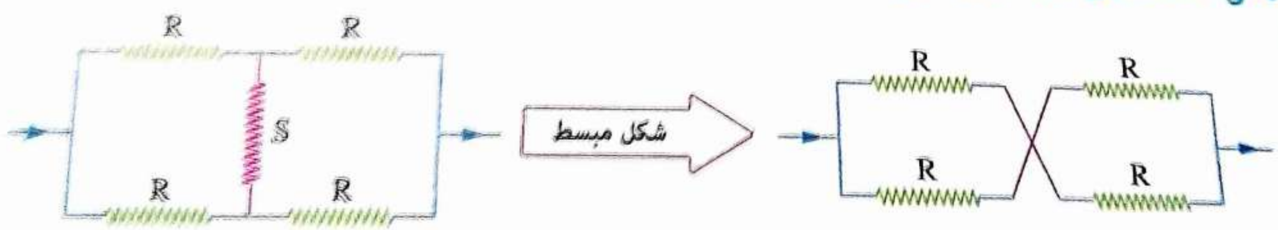
* المقاومات Ω 24 ، Ω 12 ، $\acute{R}_3$ متصلة على التوازى :

$$\frac{1}{\acute{R}} = \frac{1}{24} + \frac{1}{12} + \frac{1}{8} = \frac{1}{4}$$

$$\acute{R} = 4\ \Omega$$

إرشاد

* فى حالة تساوى الجهد بين طرفى مقاومة ما تهمل هذه المقاومة عند حساب المقاومة المكافئة :

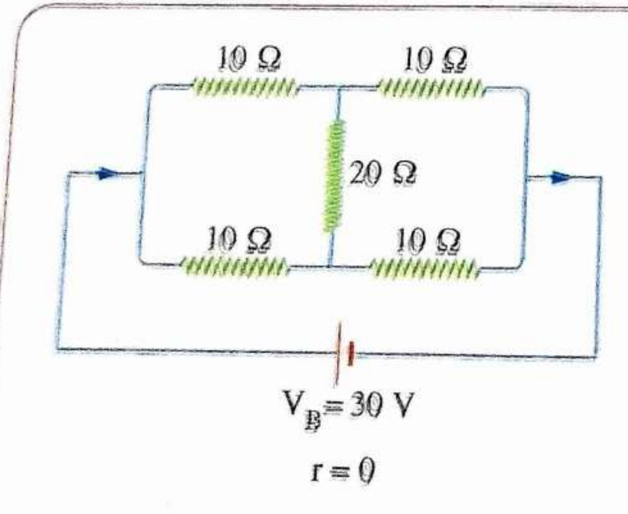


مثال

من الدائرة المقابلة، احسب :

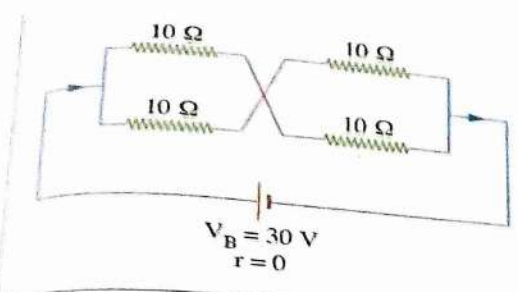
(أ) المقاومة المكافئة.

(ب) شدة التيار المار فى الدائرة.





(جـ)



الحـــل

(أ) لا يمر تيار فى المقاومة 20 Ω لتساوى الجهد عند طرفيها ويصبح شكل الدائرة كما هو موضح :

$$\grave{R} = \frac{10}{2} + \frac{10}{2} = 10\ \Omega$$

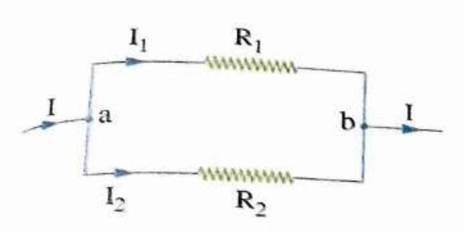
(ب)

$$I = \frac{V_B}{\grave{R}} = \frac{30}{10} = 3\ A$$



إرشاد

* لحساب شدة تيار الفرع :



$$\grave{R} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_1 = V_2 = V_{ab}$$

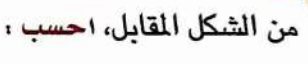
$$I_1 R_1 = I_2 R_2 = I\grave{R}$$

$$I_1 = \frac{V_{ab}}{R_1} \quad , \quad I_2 = \frac{V_{ab}}{R_2}$$

فى حالة وجود فرعين فقط :

$$I_1 = \frac{IR_2}{R_1 + R_2} \quad , \quad I_2 = \frac{IR_1}{R_1 + R_2}$$

مثال ①

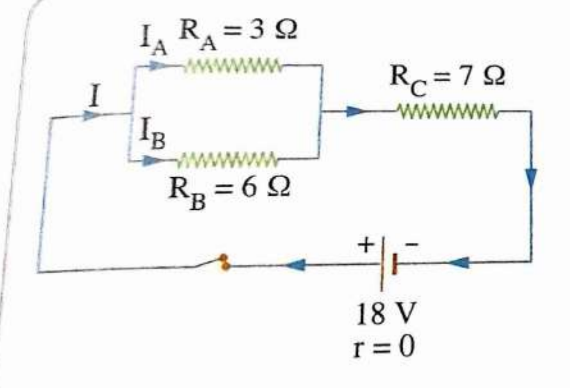


من الشكل المقابل، احسب :

(أ) المقاومة الكلية.

(ب) شدة التيار المار فى الدائرة.

(جـ) شدة التيار المار فى كل من المقاومتين R_A ، R_B



الحـــل

$R_A = 3\ \Omega$	$R_B = 6\ \Omega$	$R_C = 7\ \Omega$	$V_B = 18$ V	$\grave{R} = ?$	$I = ?$	$I_A = ?$	$I_B = ?$

(أ)

$$\grave{R} = \frac{R_A R_B}{R_A + R_B} + R_C = \frac{3 \times 6}{3 + 6} + 7 = 2 + 7 = 9\ \Omega$$

(ب)

$$I = \frac{V_B}{\grave{R}} = \frac{18}{9} = 2\ A$$

(جـ) $V_{AB} = IR_{AB} = 2 \times 2 = 4\ V$, $R_{AB} = \frac{3 \times 6}{3 + 6} = 2\ \Omega$

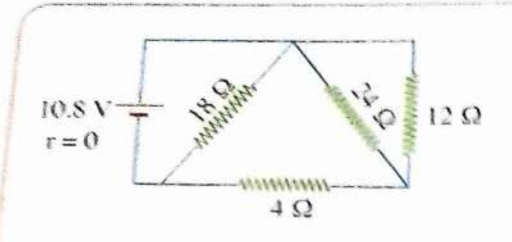
$\mathbf{I_A} = \frac{V_{AB}}{R_A} = \frac{4}{3} = \mathbf{1.33\ A}$

$\mathbf{I_B} = \frac{V_{AB}}{R_B} = \frac{4}{6} = \mathbf{0.67\ A}$

مثال (٢)

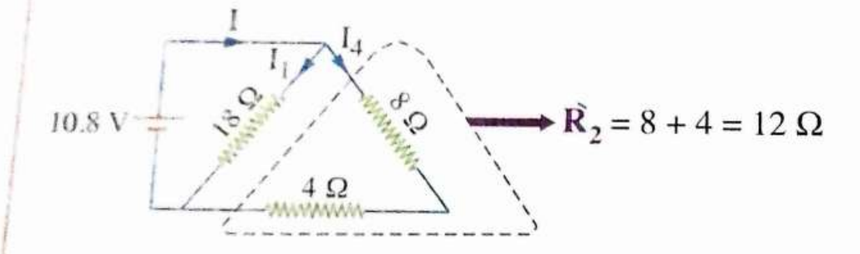
فى الدائرة الكهربية الموضحة بالشكل المقابل،

احسب شدة التيار المار فى كل مقاومة.

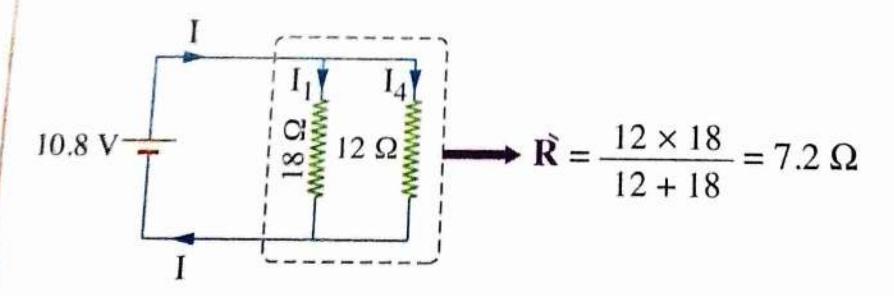


الحـــل

$\grave{R}_1 = \frac{12 \times 24}{12 + 24} = 8\ \Omega$



$\grave{R}_2 = 8 + 4 = 12\ \Omega$



$\grave{R} = \frac{12 \times 18}{12 + 18} = 7.2\ \Omega$

$I = \frac{V_B}{\grave{R}} = \frac{10.8}{7.2} = 1.5\ A$

• شدة التيار المار فى المقاومة 18 Ω :

$\mathbf{I_1} = \frac{V_B}{18} = \frac{10.8}{18} = \mathbf{0.6\ A}$

* شدة التيار المار فى المقاومة $4\ \Omega$:

$$I = I_1 + I_4$$

$$1.5 = 0.6 + I_4$$

$$I_4 = 0.9\ A$$

* فرق الجهد بين طرفى كل من المقاومتين $12\ \Omega$ ، $24\ \Omega$ (V_3) :

$$V_3 = I_4 \grave{R}_1 = 0.9 \times 8 = 7.2\ V$$

* شدة التيار المار فى المقاومة $24\ \Omega$:

$$I_2 = \frac{V_3}{24} = \frac{7.2}{24} = 0.3\ A$$

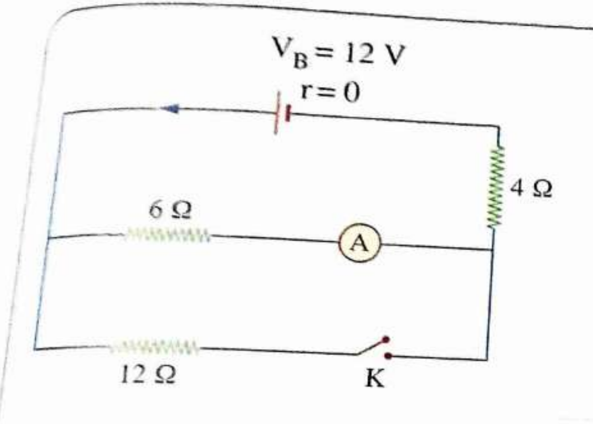
* شدة التيار المار فى المقاومة $12\ \Omega$:

$$I_3 = \frac{V_3}{12} = \frac{7.2}{12} = 0.6\ A$$

مثال (٣)

فى الدائرة الكهربية الموضحة بالشكل المقابل،

احسب النسبة بين قراءتى الأميتر قبل وبعد غلق المفتاح.



الحـــل

* عند غلق أو فتح مفتاح بالدائرة، أعد توزيع التيار بدءًا من القطب الموجب للبطارية وانتهاءً بالقطب السالب لإدراك هل يقرأ الأميتر شدة التيار الكلى أم جزء منه.

قراءة الأميتر والمفتاح (K) مفتوح :

$$I_1 = \frac{V_B}{\grave{R}_1} = \frac{12}{6+4} = 1.2\ A$$

قراءة الأميتر والمفتاح (K) مغلق :

$$\grave{R}_2 = 4 + \frac{6 \times 12}{6 + 12} = 8\ \Omega$$

$$\grave{I} = \frac{V_B}{\grave{R}_2} = \frac{12}{8} = 1.5\ A$$

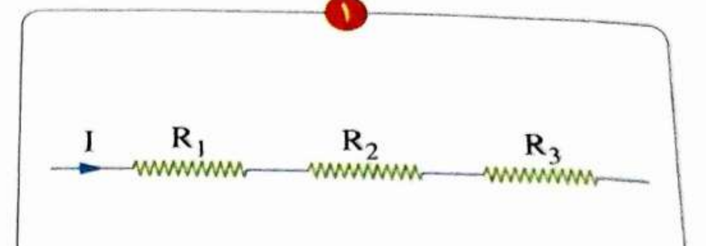
$$\grave{I} \times \frac{6 \times 12}{6 + 12} = I_2 \times 6$$

$$I_2 = 1.5 \times \frac{4}{6} = 1\ A$$

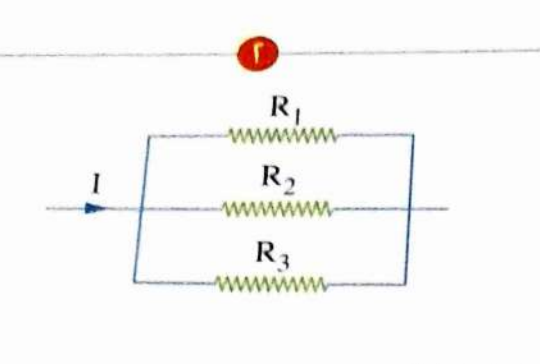
$$\therefore \frac{I_1}{I_2} = \frac{1.2}{1}$$

هناك أربع طرق لتوصيل ثلاث مقاومات

١



٢

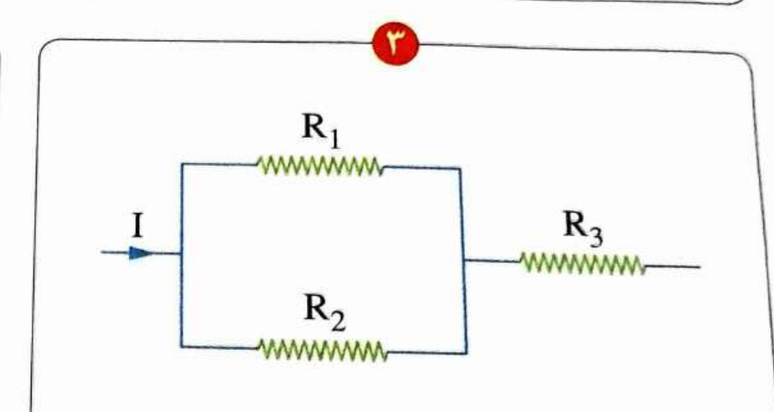


يتحقق هذا التوصيل إذا كان

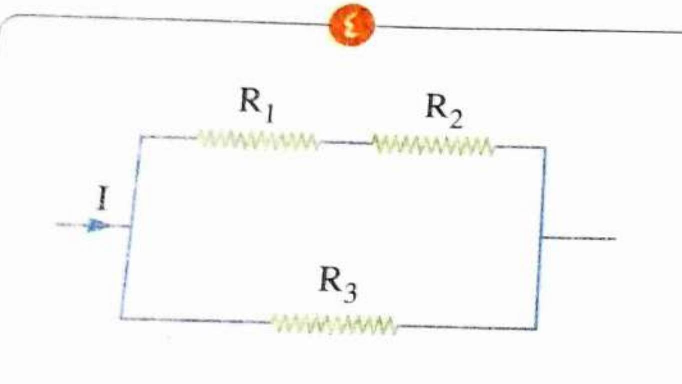
$$I = I_1 = I_2 = I_3$$
$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$
$$V_1 = V_2 = V_3$$

٣



٤



يتحقق هذا التوصيل إذا كان

$$I_3 = I_1 + I_2$$
$$V_1 = V_2$$

$$I_1 = I_2$$
$$V_1 + V_2 = V_3$$

17 : 25

مثـال

ثلاث مقاومات 20 ، 40 ، 60 أوم متصلة بمصدر تيار كهربى فإذا كان فرق الجهد بين طرفى كل مقاومة هو 50 ، 20 ، 30 فولت على الترتيب، بيّن بالرسم كيفية توصيل هذه المقاومات، ثم احسب المقاومة الكلية للدائرة.

الحـل

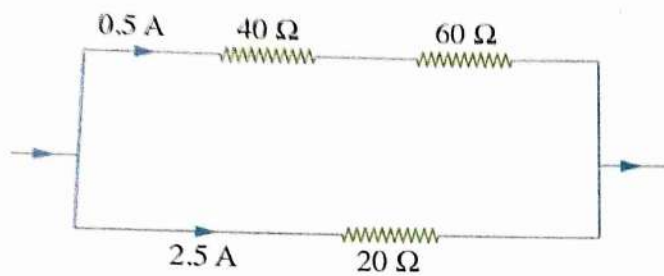
$R_1 = 20\ \Omega$ | $R_2 = 40\ \Omega$ | $R_3 = 60\ \Omega$ | $V_1 = 50\ V$ | $V_2 = 20\ V$ | $V_3 = 30\ V$

$R' = ?$

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{50}{20} = 2.5\ A \quad , \quad I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{20}{40} = 0.5\ A \quad , \quad I_3 = \frac{V_3}{R_3} = \frac{30}{60} = 0.5\ A$$

$\because I_2 = I_3 \quad , \quad \because V_1 = V_2 + V_3$

$\therefore$ المقاومتان $40\ \Omega$ ، $60\ \Omega$ متصلتان على التوالى والمقاومة $20\ \Omega$ متصلة معهما على التوازى، وتكون الدائرة كالآتى :



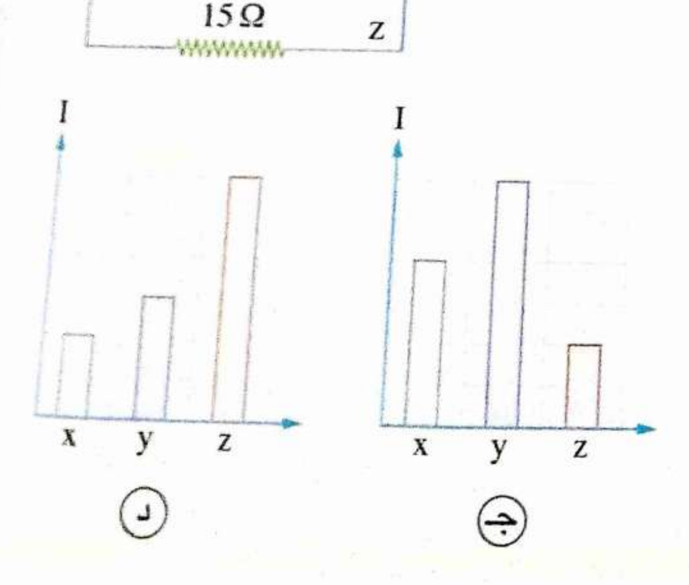
$$R' = \frac{(40 + 60) \times 20}{40 + 60 + 20} = 16.67\ \Omega$$

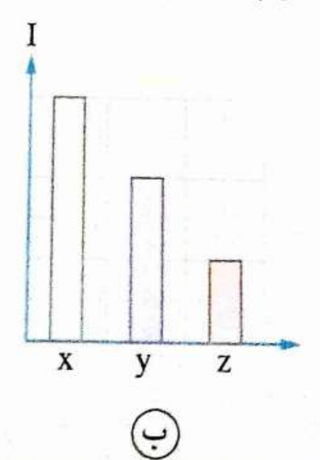
8 اختبـر نفسك

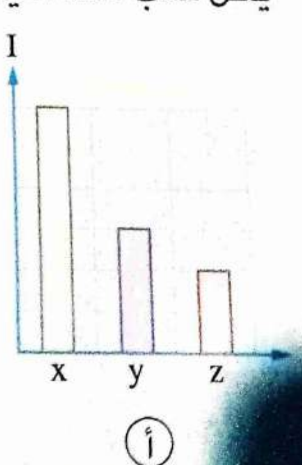
مجاب عنه

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

١ الرسم المقابل يوضح ثلاث مقاومات x ، y ، z متصلة معًا على التوازى، فأى من الأشكال التالية يمثل نسب شدة التيار المار بكل منها ؟

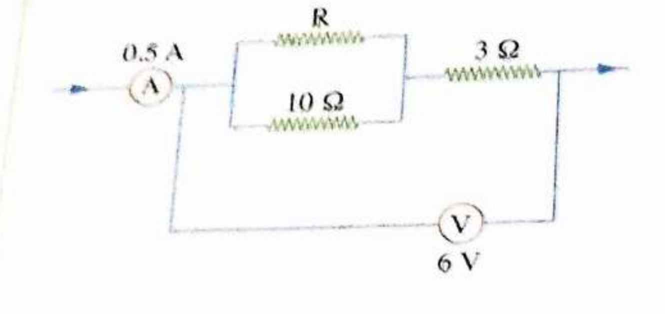






٢ في الشكل المقابل،

قيمة R تساوى ....



(أ) $9\ \Omega$

(ب) $10\ \Omega$

(ج) $12\ \Omega$

(د) $90\ \Omega$

---

٣ الشــكل المقابل يمثل جزء من دائرة كهربية، فإن فرق الجهد بين طرفى كل مقاومة متساوى إذا كان ....

$R_1 = R$ ، R_2 ، R_3

(أ) $R_2 = R_3 = R$

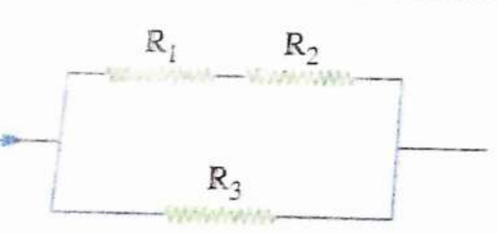
(ب) $R_2 = R\ , R_3 = 2\ R$

(ج) $R_2 = 3\ R\ , R_3 = \frac{3\ R}{4}$

(د) $R_2 = 3\ R\ , R_3 = \frac{5}{2}\ R$

---

٤ الشــكل المقابل يمثل جزء من دائرة كهربية، فإن شــدة التيار المار فى كل مقاومة يتساوى إذا كان ....



(أ) $R_1 = R_2 = R_3$

(ب) $R_1 + R_2 = R_3$

(ج) $R_1 = R_2 + R_3$

(د) $R_2 = R_1 + R_3$

* مما سبق يمكن المقارنة بين توصيل المقاومات على التوالى وتوصيلها على التوازى كالتالى :

	توصيل المقاومات على التوالى	توصيل المقاومات على التوازى
طريقة التوصيل فى الدائرة	I R_1 R_2 R_3 I (V_1) (V_2) (V_3) V تُكون مجموعة المقاومات مسار مغلق واحد مع المصدر فلا يمكن التحكم فى مرور التيار فى كل منها على حدة	I_1 R_1 I_2 R_2 I_3 R_3 I I V تُكون كل مقاومة مسار مغلق مع المصدر فيمكن التحكم فى مرور التيار فى كل منها على حدة
الغرض منه	الحصول على مقاومة كبيرة من مجموعة مقاومات صغيرة	الحصول على مقاومة صغيرة من مجموعة مقاومات كبيرة
شدة التيار الكهربى	متساوية فى جميع المقاومات وتساوى شدة التيار الكلى (I) $(I = I_1 = I_2 = I_3 = \cdots)$	التيار الكلى يساوى مجموع التيارات فى المقاومات $(I = I_1 + I_2 + I_3 + \cdots)$
فرق الجهد	فرق الجهد الكلى يساوى مجموع فروق الجهد على المقاومات $(V = V_1 + V_2 + V_3 + \cdots)$	متساوى بين طرفى جميع المقاومات ويساوى فرق الجهد الكلى (V) $(V = V_1 = V_2 = V_3 = \cdots)$
تأثير نسب المقاومات	يتناسب فرق الجهد بين طرفى كل مقاومة طرديًا مع قيمة المقاومة $\frac{V_1}{V_2} = \frac{R_1}{R_2}$	تتناسب شدة التيار المار فى كل مقاومة عكسيًا مع قيمة المقاومة $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$
القانون المستخدم لتعيين المقاومة المكافئة (R')	* لعدة مقاومات : $R' = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots$ * لعدة مقاومات متساوية عددها N وقيمة كل منها R : $R' = NR$	* لعدة مقاومات : $\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots\cdots$ * لعدة مقاومات متساوية عددها N وقيمة كل منها R : $R' = \frac{R}{N}$ * لمقاومتين : $R' = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$

إرشاد

* المقارنة بين القدرة المستهلكة فى مقاومتين إذا كان :

- شدة التيار فيهما متساوية :

$$\frac{(P_w)_1}{(P_w)_2} = \frac{I^2 R_1}{I^2 R_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

- فرق الجهد بين طرفيهما متساوى :

$$\frac{(P_w)_1}{(P_w)_2} = \frac{V^2}{R_1} \times \frac{R_2}{V^2} = \frac{R_2}{R_1}$$

مثال (١)

مصباحان مقاومتهما R_1 ، R_2، فإذا وصلا معًا فى دائرة كهربية بها مصدر كهربى وكان $R_2 < R_1$.

أيهما يصبح أكثر إضاءة إذا كان المصباحان متصلين :

(أ) على التوالى. (ب) على التوازى.

الحل

(أ)

$$\frac{(P_w)_1}{(P_w)_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

$\because R_1 > R_2$ $\therefore (P_w)_1 > (P_w)_2$

∴ **إضاءة المصباح الأول > إضاءة المصباح الثانى.**

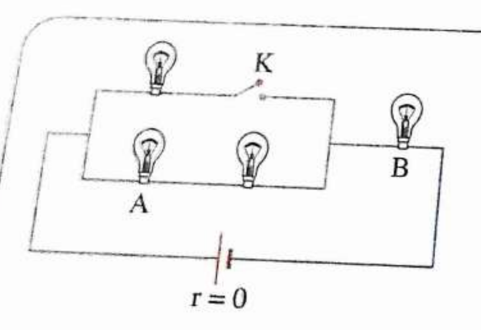
(ب)

$$\frac{(P_w)_1}{(P_w)_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

$\because R_1 > R_2$ $\therefore (P_w)_1 < (P_w)_2$

∴ **إضاءة المصباح الأول < إضاءة المصباح الثانى.**

مثال (٢)



فى الدائرة الكهربية المقابلة أربعة مصابيح متماثلة، **ما** التغير الحادث لشدة إضاءة كل من المصباحين A، B عند غلق المفتاح K ؟

الحل

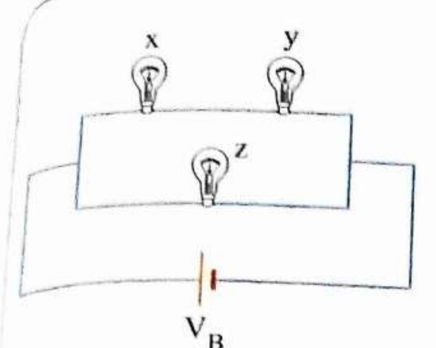
* عند غلق المفتاح K تقل المقاومة الكلية للدائرة فتزداد شدة التيار المار فى الدائرة التى هى شدة التيار المار فى المصباح B، وتبعًا للعلاقة $(P_w = I^2R)$ فإن القدرة المستهلكة فى المصباح B تزداد فتزداد إضاءته.

* بزيادة التيار المار فى المصباح B يزداد فرق الجهد بين طرفيه ونظرًا لأن فرق الجهد بين طرفى المصدر يساوى مجموع فروق الجهد بين طرفى المصباح B وبين طرفى مجموعة المصابيح المتصلة معه فإن فرق الجهد بين طرفى المصباح A يقل وتبعًا للعلاقة $\left(P_w = \frac{V^2}{R}\right)$ فإن القدرة المستهلكة فى المصباح A تقل فتقل إضاءته.



مثال ٣

فـى الدائـرة المقابلـة ثلاثـة مصابيـح متماثلـة x ، y ، z متصلـين معًـا ببطاريـة مهملـة المقاومـة الداخليـة، **احسب** النسبة بـين القـدرة المسـتهلكة فـى المصابيـح الثلاثـة $(P_w)_x : (P_w)_y : (P_w)_z$.



الحـــل

* نفرض أن مقاومة كل مصباح R

* المصباحان x ، y متصلان على التوالى :

$$\therefore V_x + V_y = V_B$$

$$\because R_x = R_y = R$$

$$\therefore V_x = V_y = \frac{V_B}{2}$$

* المصباح z متصل على التوازى مع المصباحان x ، y :

$$V_z = V_B$$

$$\because P_w = \frac{V^2}{R}$$

$$\therefore (P_w)_x : (P_w)_y : (P_w)_z$$

$$= \frac{V_B^2}{4R} : \frac{V_B^2}{4R} : \frac{V_B^2}{R}$$

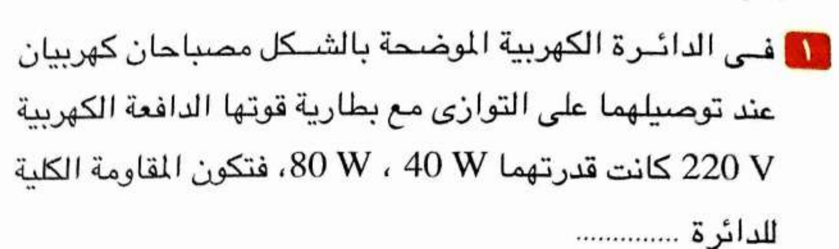
$$= \mathbf{1 : 1 : 4}$$



اختبـر نفسـك

مجاب عنها

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :



١ فـى الدائـرة الكهربية الموضحة بالشـكل مصباحان كهربيان عند توصيلهما على التوازى مع بطارية قوتها الدافعة الكهربية 220 V كانت قدرتهما 40 W ، 80 W، فتكون المقاومة الكلية للدائرة ....

220 V

r = 0

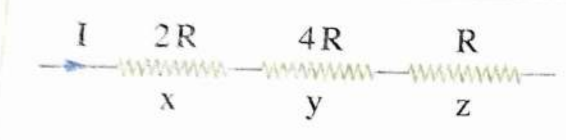
(أ) 364.2 Ω

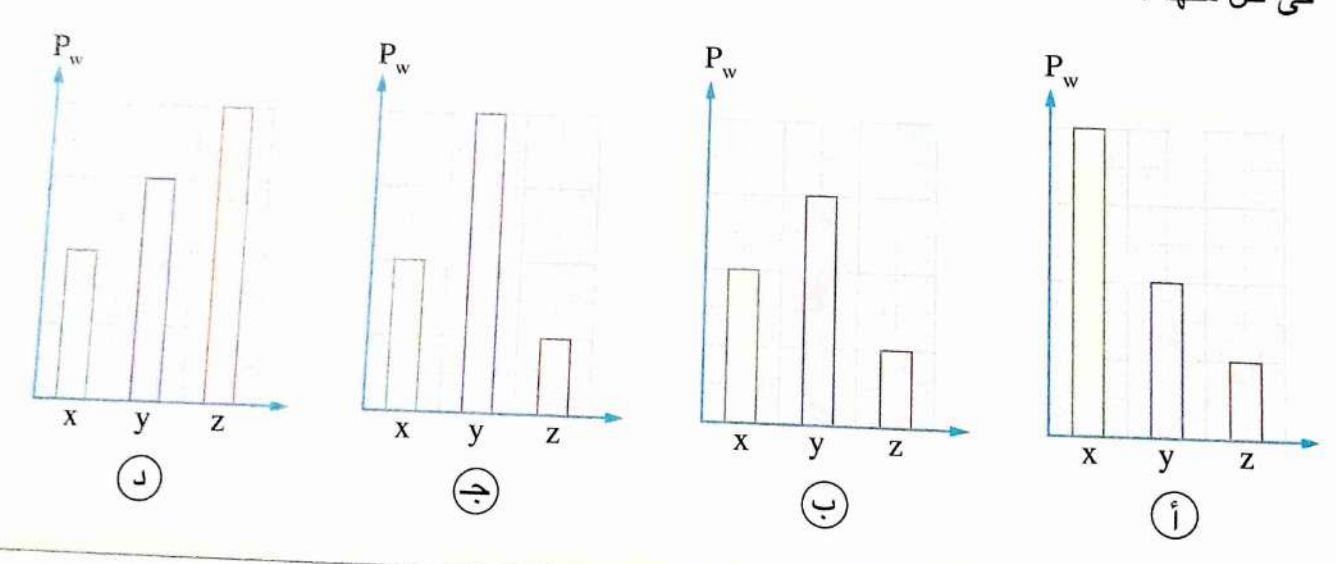
(ب) 380.5 Ω

(جـ) 403.3 Ω

(د) 502.6 Ω

٢ فى الشكل المقابل ثلاث مقاومات متصلة معًا على التوالى، فأى من الأشـكال التالية يعبر عن نسـب القدرة المستهلكة فى كل منها ؟







الدرس الثالث

قانون أوم للدائرة المغلقة

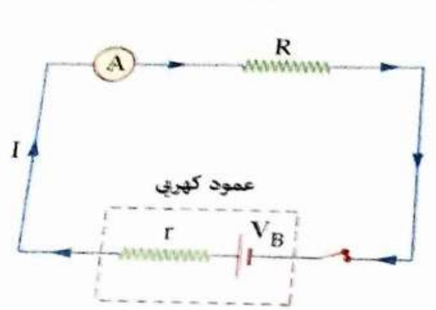
17 : 28

* درسنا فيما سبق أن العمود الكهربى (البطارية) هو مصدر الجهد فى الدائرة الكهربية، وبسبب مقاومة المواد المصنوع منها العمود الكهربى يكون لكل عمود كهربى مقاومة داخلية وبذلك تصبح المقاومة الكلية للدائرة هى المحصلة للمقاومة الخارجية المتصلة بالدائرة والمقاومة الداخلية للعمود الكهربى.

* تقدر **القوة الدافعة الكهربية (V_B)** لمصدر كهربى بالشغل الكلى المبذول خارج وداخل المصدر الكهربى لنقل وحدة الشحنات الكهربية فى الدائرة كلها.

وتكون **القوة الدافعة الكهربية للمصدر = فرق الجهد الخارجى + فرق الجهد الداخلى**

* إذا رمزنا للقوة الدافعة الكهربية للعمود (البطارية) بالرمز (V_B) وشدة التيار الكلى فى الدائرة بالرمز (I) وللمقاومة الخارجية (المكافئة) بالرمز (R) وللمقاومة الداخلية للعمود بالرمز (r) كما بالشكل، فإن :



$$V_B = V_{(\text{خارج المصدر})} + V_{(\text{داخل المصدر})}$$

$$V_B = IR + Ir$$

V_B: القوة الدافعة الكهربية — IR: فرق الجهد عبر المقاومة الخارجية — Ir: فرق الجهد عبر المقاومة الداخلية

$\therefore V_B = I(R + r)$ $\qquad$ $\therefore \mathbf{I = \frac{V_B}{R + r}}$

وتعرف هذه العلاقة بقانون أوم للدائرة المغلقة.

من قانون أوم للدائرة المغلقة يتضح أن :

* **القوة الدافعة الكهربية (V_B) لعمود كهربى تكون أكبر من فرق الجهد (V) بين طرفيه.**

لأن المقاومة الداخلية للعمود تستهلك شغلًا لكى يمر التيار الكهربى داخل العمود تبعًا للعلاقة ($V_B = V + Ir$)

وبذلك تكون ($V_B > V$).

حيث (V) فرق الجهد بين طرفى المقاومة المكافئة (الخارجية) أو فرق الجهد بين طرفى العمود عند مرور تيار كهربى فى الدائرة الكهربية.

* **فرق الجهد بين قطبى العمود (V) يصبح :**

(١) **مساوى تقريبًا** للقوة الدافعة الكهربية له (V_B).

عندما تصبح قيمة شدة التيار أو المقاومة الداخلية للعمود صغيرة جدًا لدرجة يمكن معها إهمال قيمة (Ir).

(٢) **مساوى** للقوة الدافعة الكهربية له (V_B).

عندما تكون الدائرة الكهربية مفتوحة، ولا يمر تيار كهربى خلال العمود الكهربى.

* مما سبق يمكن تعريف القوة الدافعة الكهربية لعمود كما يلى :

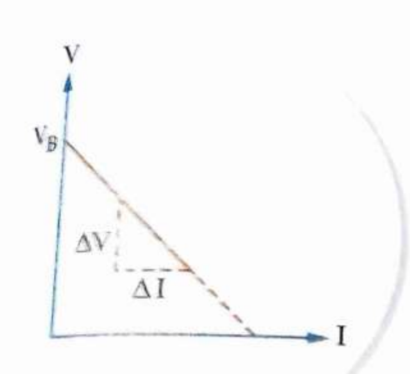
القوة الدافعة الكهربية لعمود (V_B)

مقدار الشغل الكلى المبذول لنقل كمية من الكهربية مقدارها واحد كولوم (وحدة الشحنات الكهربية) خارج وداخل العمود فى الدائرة الكهربية.

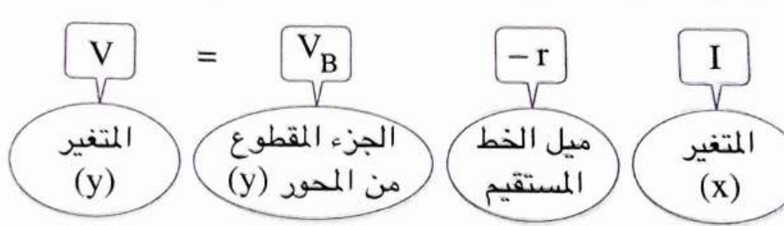
أو

فرق الجهد بين قطبى العمود فى حالة عدم مرور تيار كهربى فى الدائرة (المفتاح مفتوح).

تقاس القوة الدافعة الكهربية لمصدر بوحدة **الڤولت**



* التمثيل البيانى للعلاقة بين فرق الجهد بين قطبى مصدر كهربى وشدة التيار المار فى الدائرة الكهربية أو خلال المصدر الكهربى :



$$\therefore \text{slope} = \frac{\Delta V}{\Delta I} = -r$$

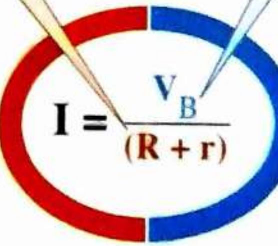
العوامل المؤثرة على شدة التيار المار بدائرة كهربية

١ **القوة الدافعة الكهربية بالدائرة (V_B) :**

«علاقة طردية».

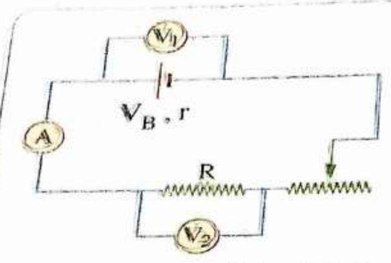
٢ **المقاومة الكلية بالدائرة $(R + r)$:**

«علاقة عكسية».



ملاحظات

* فى الدائرة الكهربية الموضحة بالشكل، عند زيادة قيمة المقاومة المأخوذة من الريوستات :



(١) تزداد المقاومة الكلية للدائرة $(\bar{R} + r)$ فتقل شدة التيار المار فى الدائرة (I) تبعًا للعلاقة $\left(I = \frac{V_B}{\bar{R} + r}\right)$.

(٢) يزداد فرق الجهد (V_1) بين قطبى البطارية،

لأنه نظرًا لنقص قيمة شدة التيار المار فى الدائرة يقل فرق الجهد الداخلى (Ir) وحيث إن قيمة القوة الدافعة الكهربية (V_B) للبطارية ثابتة فإن فرق الجهد (V_1) بين طرفى البطارية يزداد.

(٣) يقل فرق الجهد (V_2) بين طرفى المقاومة الثابتة R نظرًا لنقص شدة التيار المار فيها وثبوت قيمة R طبقًا للعلاقة $(V_2 = IR)$.

---

* **عادةً ما يشار إلى المقاومة الخارجية (خارج المصدر) بالدائرة الكهربية بالمقاومة المكافئة $(\bar{R})$**، ويشار إلى مجموع المقاومات خارج المصدر وداخله بالمقاومة الكلية $(\bar{R} + r)$.

---

* **من الصور الرياضية المهمة لقانون أوم للدائرة المغلقة $(V = V_B - Ir)$**،

حيث (V) فرق الجهد بين قطبى المصدر الكهربى وتمثل قراءة الفولتميتر المتصل بقطبى المصدر الكهربى.

مثال (١)

عمود كهربى قوته الدافعة الكهربية 2 V، ومقاومته الداخلية 0.1 Ω وصل فى دائرة كهربية مقاومتها الخارجية 3.9 Ω، **احسب** شدة التيار الكلى فى الدائرة.

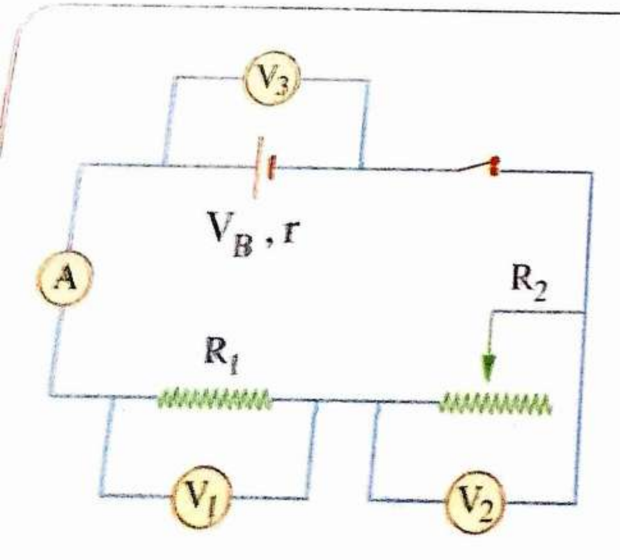
الحل

$V_B = 2\ V$ | $r = 0.1\ \Omega$ | $R = 3.9\ \Omega$ | $I = ?$

$$I = \frac{V_B}{R + r} = \frac{2}{3.9 + 0.1} = 0.5\ A$$

مثال (٢)

فى الدائرة الموضحة بالشكل **ماذا يحدث** لقراءة كل من الأجهزة عند تقليل المقاومة المتغيرة (R_2) ؟



(أ) قراءة الأميتر (A).

(ب) قراءة الفولتميتر (V_1).

(جـ) قراءة الفولتميتر (V_3).

(د) قراءة الفولتميتر (V_2).

الحـــل

(أ) عند تقليل المقاومة المتغيرة R_2 تقل المقاومة المكافئة للدائرة (R) فتزداد شدة التيار المار بالدائرة (I) تبعًا

للعلاقة : $I = \frac{V_B}{R + r}$

∴ **تزداد قراءة الأميتر (A).**

(ب) عندما تزداد شدة التيار (I) المار فى المقاومة الثابتة R_1 يزداد فرق الجهد بين طرفيها (V_1) تبعًا

للعلاقة : $V_1 = IR_1$

∴ **تزداد قراءة الفولتميتر (V_1).**

(جـ) عندما تزداد شدة التيار (I) المار فى الدائرة، يزداد فرق الجهد داخل المصدر (Ir)، ويقل فرق الجهد بين قطبى المصدر (V_3) تبعًا للعلاقة : $V_3 = V_B - Ir$

∴ **تقل قراءة الفولتميتر (V_3).**

(د) ∵ المقاومتان R_1 ، R_2 متصلتان على التوالى.

$\therefore V_3 = V_1 + V_2$

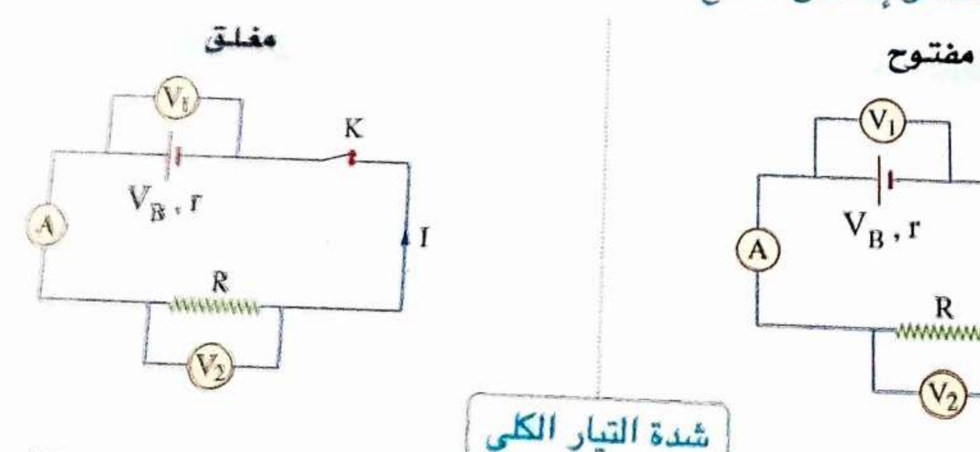
$\therefore V_2 = V_3 - V_1$

∵ بتقليل المقاومة المتغيرة R_2 تقل V_3 وتزداد V_1

∴ **تقل قراءة الفولتميتر (V_2).**

إرشاد

* فى الدائرة الموضحة بالشكل إذا كان المفتاح K :



شدة التيار الكلى

مفتوح: $I = 0$

مغلق: $I = \frac{V_B}{R + r} = \frac{V_B - V_1}{r} = \frac{V_2}{R}$

فرق الجهد بين طرفى العمود الكهربى

مفتوح: $V_1 = V_B$

مغلق: $V_1 = V_B - Ir$

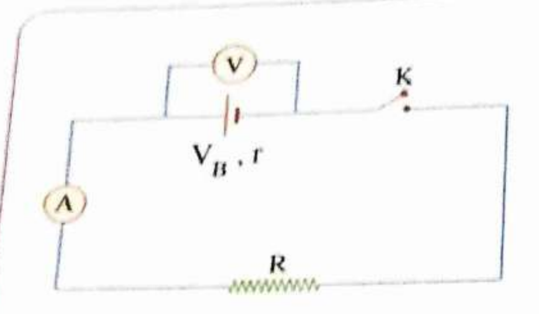
فرق الجهد بين طرفى المقاومة (R)

مفتوح: $V_2 = 0$

مغلق: $V_2 = IR$



إذا كانت قراءة الڤولتميتر والمفتاح K مفتوح 24 V، وعند غلق المفتاح K أصبحت قراءة الڤولتميتر 20 V وقراءة الأميتر 2 A،



(أ) احسب :

١- القوة الدافعة الكهربية للعمود الكهربى.

٢- المقاومة الداخلية للعمود الكهربى.

٣- قيمة المقاومة R

(ب) إذا استبدلت المقاومة R بمقاومة 4 Ω، احسب قراءة كل من الأميتر والڤولتميتر.

الحل

(أ) ١- المفتاح K مفتوح :

$$V_B = V = 24\ V$$

٢- عند غلق المفتاح K :

$$V_B = V + Ir$$

$$24 = 20 + 2r$$

$$r = 2\ \Omega$$

٣-

$$V = IR$$

$$20 = 2R$$

$$R = 10\ \Omega$$

(ب)

$$I = \frac{V_B}{R + r} = \frac{24}{4 + 2} = 4\ A$$

∴ قراءة الأميتر هى **4 A**

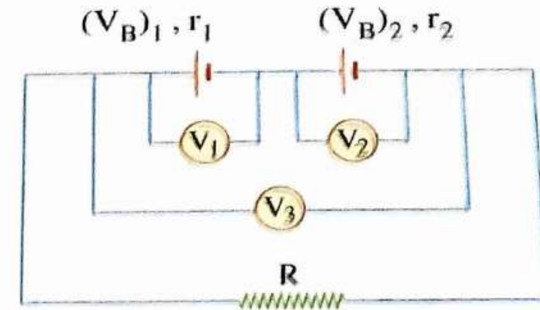
$$V = V_B - Ir = 24 - (4 \times 2) = 16\ V$$

∴ قراءة الڤولتميتر هى **16 V**

إرشاد

* فى حالة دائرة كهربية مغلقة تحتوى على عمودين كهربيين متصلين على التوالى :

فى نفس الاتجاه
(الأقطاب المختلفة تتصل معًا)



فإن

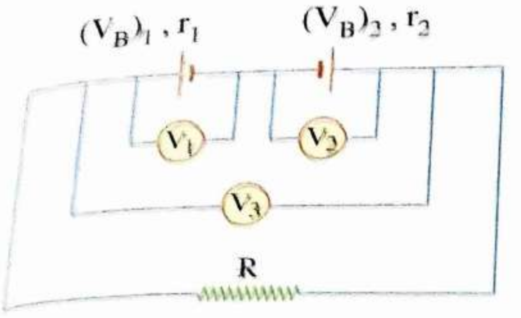
$$I = \frac{(V_B)_1 + (V_B)_2}{R + r_1 + r_2}$$

$V_1 = (V_B)_1 - Ir_1$ (حالة تفريغ)

$V_2 = (V_B)_2 - Ir_2$ (حالة تفريغ)

$V_3 = V_1 + V_2 = IR$

فى اتجاهين متعاكسين
(الأقطاب المتشابهة تتصل معًا)



(حيث : $(V_B)_2 < (V_B)_1$)

$$I = \frac{(V_B)_1 - (V_B)_2}{R + r_1 + r_2}$$

$V_1 = (V_B)_1 - Ir_1$ (حالة تفريغ)

$V_2 = (V_B)_2 + Ir_2$ (حالة شحن)

$V_3 = V_1 - V_2 = IR$

مثال ١

فى الدائرة المقابلة، إذا كانت القوة الدافعة الكهربية للعمودين $(V_B)_1 = 10\ V$ ، $(V_B)_2 = 14\ V$ والمقاومة الداخلية لهما $0.5\ \Omega$ ، $1.5\ \Omega$ على الترتيب،

$(V_B)_1 , r_1$ $(V_B)_2 , r_2$
$R_1 = 10\ \Omega$
$R_2 = 10\ \Omega$
$R_3 = 5\ \Omega$

احسب :

(أ) شدة التيار المار فى الدائرة.

(ب) فرق الجهد بين طرفى كل من العمودين.

الحـــل

$(V_B)_1 = 10\ V$	$(V_B)_2 = 14\ V$	$r_1 = 0.5\ \Omega$	$r_2 = 1.5\ \Omega$	$R_1 = 10\ \Omega$
$R_2 = 10\ \Omega$	$R_3 = 5\ \Omega$	$I = ?$	$V_1 = ?$	$V_2 = ?$

(أ)

$$R' = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + R_3 = \frac{10 \times 10}{10 + 10} + 5 = 10\ \Omega$$

$$I = \frac{(V_B)_1 + (V_B)_2}{R' + r_1 + r_2} = \frac{10 + 14}{10 + 0.5 + 1.5} = 2\ A$$

(ب)

$$V_1 = (V_B)_1 - Ir_1 = 10 - (2 \times 0.5) = 9\ V$$

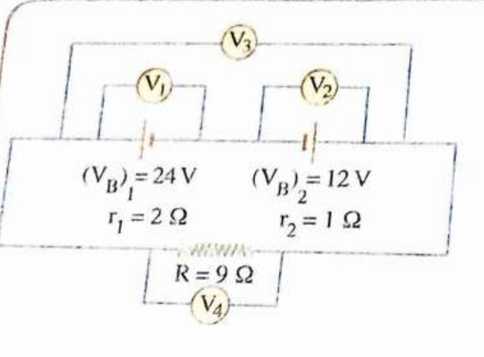
$$V_2 = (V_B)_2 - Ir_2 = 14 - (2 \times 1.5) = 11\ V$$



مثال (٢)

مستخدمًا البيانات الموضحة على الشكل المقابل،

احسب قراءة كل من : V_1 ، V_2 ، V_3 ، V_4



الحـــل

$(V_B)_1 = 24\ V$	$(V_B)_2 = 12\ V$	$r_1 = 2\ \Omega$	$r_2 = 1\ \Omega$	$R = 9\ \Omega$
$V_1 = ?$	$V_2 = ?$	$V_3 = ?$	$V_4 = ?$	

$$I = \frac{(V_B)_1 - (V_B)_2}{R + r_1 + r_2} = \frac{24 - 12}{9 + 2 + 1} = 1\ A$$

$$V_1 = (V_B)_1 - Ir_1 = 24 - (1 \times 2) = 22\ V$$

(حالة تفريغ)

$$V_2 = (V_B)_2 + Ir_2 = 12 + (1 \times 1) = 13\ V$$

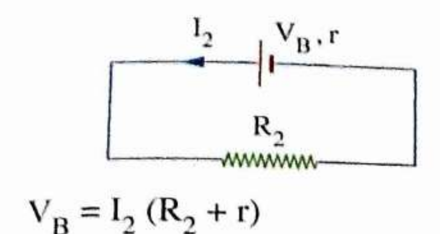
(حالة شحن)

$$V_3 = V_1 - V_2 = 22 - 13 = 9\ V$$

$$V_4 = IR = 1 \times 9 = 9\ V$$

إرشاد

* عند استبدال المقاومة الخارجية R_1 والتى يمر بها تيار شدته I_1 بمقاومة أخرى R_2 تتغير شدة التيار المار فى الدائرة إلى I_2 عند توصيلها بنفس البطارية :



$V_B = I_2 (R_2 + r)$

I_1 , V_B , r , R_1

$V_B = I_1 (R_1 + r)$

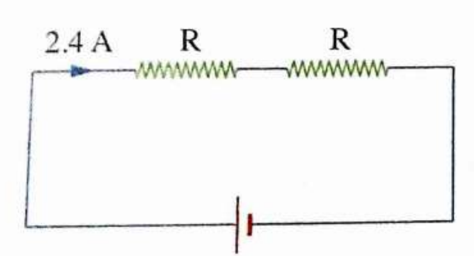
وتحل المعادلتان جبريًا لإيجاد القيم المجهولة

مثال

مقاومتان متماثلتان قيمة كل منهما R عندما وصلتا معًا على التوالى بعمود كهربى مقاومته الداخلية 2 Ω يمر بكل منهما تيار شدته 2.4 A وعندما يوصلا معًا على التوازى بنفس المصدر يمر بكل منهما تيار شدته 3 A، **احسب** قيمة R وكذلك القوة الدافعة الكهربية للعمود.

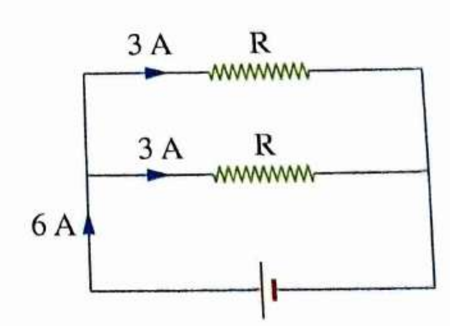
الحـــل

$r = 2\ \Omega$	$I_1 = 2.4\ A$	**R = ?**	**V_B = ?**



$$V_B = I_1 (\grave{R}_1 + r)$$

$$V_B = 2.4 (2R + 2) \quad ①$$



$$I_2 = 2 \times 3 = 6\ A$$

$$V_B = I_2 (\grave{R}_2 + r)$$

$$V_B = 6 (\frac{R}{2} + 2) \quad ②$$

من المعادلتين ① ، ② :

$$2.4 (2R + 2) = 6 (\frac{R}{2} + 2)$$

$$4.8R + 4.8 = 3R + 12$$

$$R = 4\ \Omega$$

بالتعويض فى المعادلة ① :

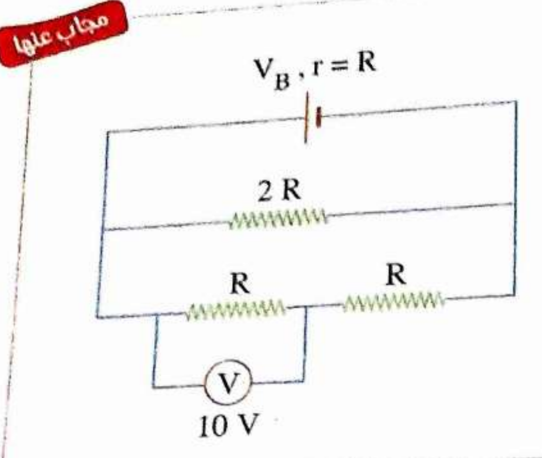
$$V_B = 2.4 ((2 \times 4) + 2)$$

$$= 24\ V$$

10 اختبر نفسك

مجاب عنها

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

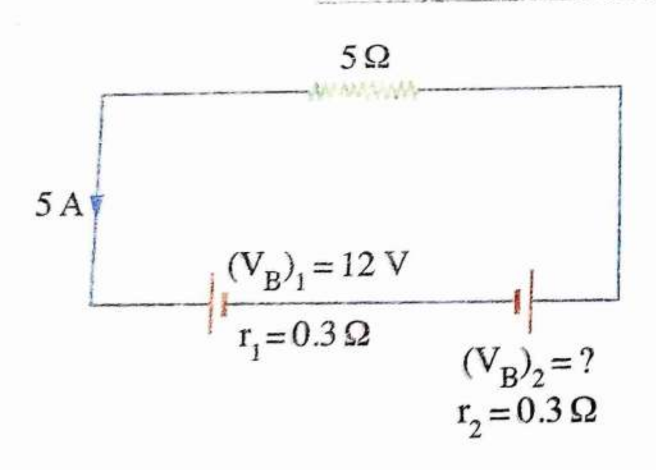


١ فى الدائرة الموضحة تكون قيمة V_B هى ....

(أ) 10 V
(ب) 20 V
(جـ) 30 V
(د) 40 V

٢ ثمانيـة مصابيـح متماثلة متصلة معًا على التوازى وُصلت بمصدر قوته الدافعة الكهربية 220 V ومقاومته الداخلية 2.5 Ω ، فمر فى كل مصباح تيار شدته 0.5 A فإن مقاومة المصباح الواحد تساوى ....

(أ) 88 Ω
(ب) 176 Ω
(جـ) 420 Ω
(د) 440 Ω



٣ فى الشـكل المقابل إذا علمـت أن البطارية $(V_B)_1$ يتم شـحنها بتيار شدته 5 A، فتكون القوة الدافعة الكهربية للبطارية $(V_B)_2$ هى ....

(أ) 40 V
(ب) 32 V
(جـ) 24 V
(د) 16 V

الفصل 1

الدرس الرابع

قانونا كيرشوف



فى هذا الدرس سوف نتعرف :

- القانون الأول لكيرشوف.
- القانون الثانى لكيرشوف.
- كيفية حل مسائل كيرشوف.

* هنـاك دوائـر كهربيـة معقـدة يصعـب حلهـا مباشـرةً بتطبيـق قانـون أوم عليهـا، لذلـك قـام العالـم الألمانى كيرشوف (Kirchhoff) بوضع قانونين يمكن من خلالهما التعامل مع هذه الدوائر وفيما يلى سوف نتناول كل منهما بشىء من التفصيل :

القانون الأول لكيرشوف

* لقد عرفنا أن التيار الكهربى فى الموصلات المعدنية عبارة عن سـيل من الإلكترونات السـالبة (شحنات كهربية) تنتقل من نقطة لأخرى.

* تبعًا **لقانون حفظ الشحنة** فإن مقدار الشحنة الكهربية الداخلة إلى نقطة ما فى زمن معين هو نفس مقدار الشـحنة الخارجة مـن هـذه النقطـة فى نفس الزمن ولأن شـدة التيار تسـاوى مقـدار الشـحنات الكهربية التى تعبر خـلال مقطع معين فى الثانية الواحدة، **فإن القانون الأول لكيرشوف ينص على :**

$Q_1 = Q_2 + Q_3$

نص القانون الأول لكيرشوف

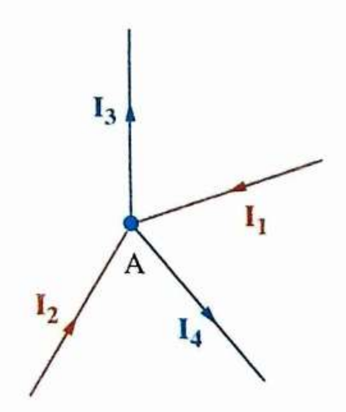
مجموع التيارات الكهربية الداخلة عند نقطة فى دائرة كهربية مغلقة يساوى مجموع التيارات الخارجة منها.

أو

المجموع الجبرى للتيارات عند نقطة فى دائرة مغلقة يساوى صفر.

* **تطبيق على القانون الأول لكيرشوف :**

(١) مجموع التيارات الداخلة للنقطة = مجموع التيارات الخارجة من النقطة



(٢) المجموع الجبرى للتيارات عند نقطة تفرع فى دائرة مغلقة = صفر

الصيغة الرياضية

$$\Sigma I_{(الداخلة)} = \Sigma I_{(الخارجة)}$$

$$\Sigma I = 0$$

عند نقطة التفرع

– التيار الداخل للنقطة والخارج منها تكون إشارته موجبة.

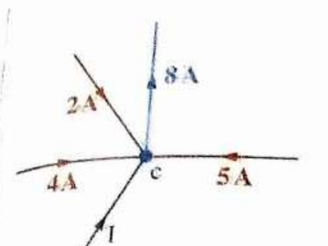
$$\therefore I_1 + I_2 = I_3 + I_4$$

– التيار الداخل للنقطة تكون إشارته موجبة.

– التيار الخارج من النقطة تكون إشارته سالبة.

$$\therefore I_1 + I_2 - I_3 - I_4 = 0$$

مثال (١)

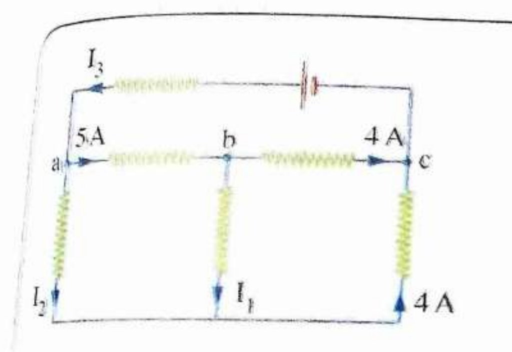


من الشكل المقابل، **احسب** مقدار شدة التيار (I) **وحدد** اتجاهه.

الحل

بفرض اتجاه التيار (I) إلى داخل النقطة (c)

طبقاً لقانون كيرشوف الأول



$$\Sigma I_{(\text{الداخلة})} = \Sigma I_{(\text{الخارجة})}$$

$$4 + 5 + 2 + I = 8$$

$$I = -3\ A$$

∴ **مقدار شدة التيار I يساوى 3 A واتجاهه خارج من النقطة c (عكس الاتجاه المفروض).**

مثال (٢)

احسب قيم شدة التيارات المجهولة فى الدائرة المبينة بالشكل المقابل.

الحل

عند النقطة (a) هناك تياران مجهولان I_3 ، I_2 بينما عند كل من النقطتين (b) ، (c) هناك تيار واحد مجهول القيمة I_1 ، I_3 على الترتيب.

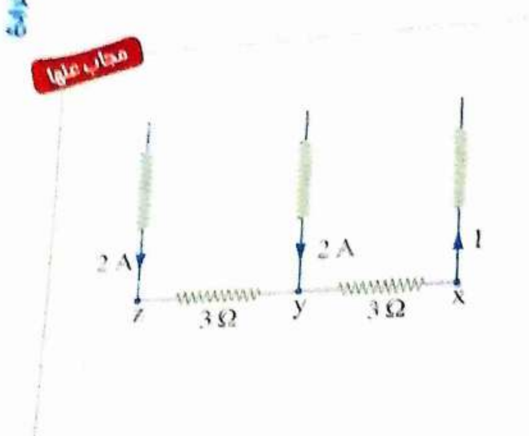
	الرسم	التطبيق
١		عند النقطة (b) $5 = I_1 + 4$ $I_1 = 1\ A$
٢		عند النقطة (c) $4 + 4 = I_3$ $\therefore I_3 = 8\ A$
٣		عند النقطة (a) $I_3 = 5 + I_2$ $8 = 5 + I_2$ $\therefore I_2 = 8 - 5 = 3\ A$

11 اختبـر نفسك

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

مجاب عنها

الشكل المقابل يمثل جزء من دائرة كهربية فإن قيمة كل من I ، V_{xy} تساوى ....



	I	V_{xy}
أ	2 A	12 V
ب	4 A	20 V
جـ	4 A	12 V
د	2 A	20 V

القانون الثانى لكيرشوف

* **درسنا فيما سبق** أن القوة الدافعة الكهربية لدائرة مغلقة تعبر عن الشغل المبذول لتحريك وحدة الشحنة خلال الدائرة كلها مرة واحدة بينما فرق الجهد الكهربى بين نقطتين يعبر عن الشغل المبذول لتحريك وحدة الشحنة بين هاتين النقطتين (جزء من الدائرة)، وتبعًا لذلك قام كيرشوف بصياغة العلاقة بين فرق الجهد الكهربى (V) والقوة الدافعة الكهربية (V_B) فى قانونه الثانى كما يلى :

نص القانون الثانى لكيرشوف

المجموع الجبرى للقوى الدافعة (المحركة) الكهربية فى مسار مغلق يساوى المجموع الجبرى لفروق الجهد عبر مكونات (مقاومات) المسار.

أو

المجموع الجبرى لفروق الجهد الكهربية فى مسار مغلق يساوى صفر.

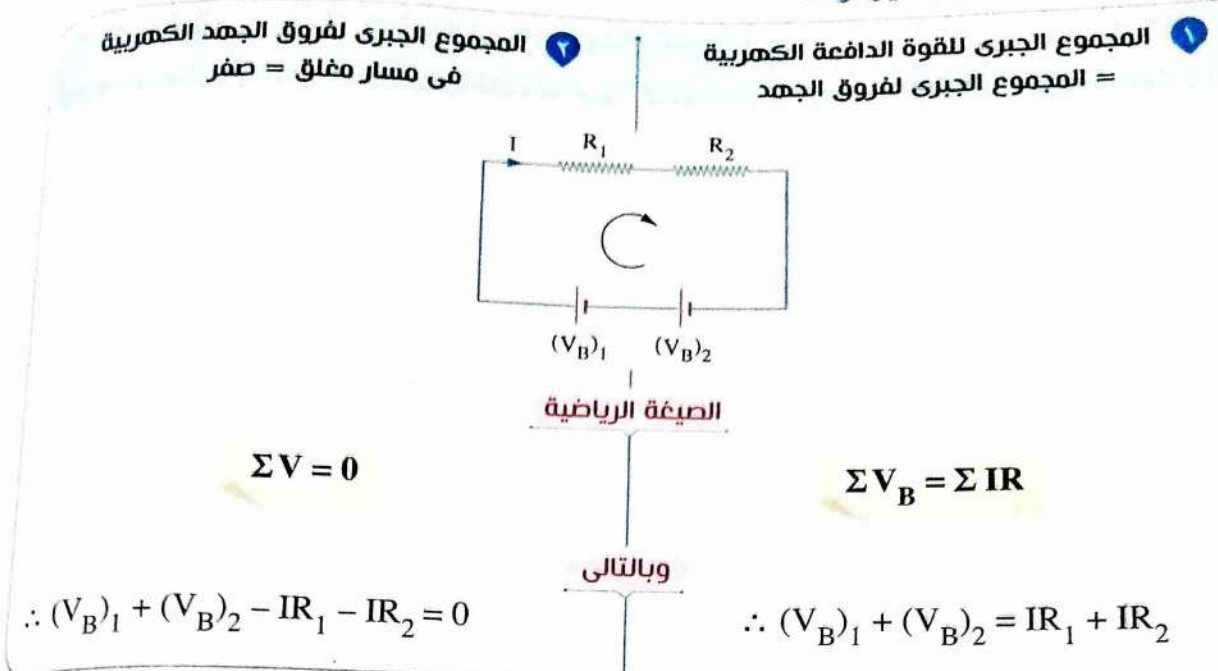
ملاحظات

* عند حل مسائل قانون كيرشوف الثانى لابد من افتراض اتجاه لكل مسار مغلق فى اتجاه عقارب الساعة أو عكس عقارب الساعة.

* [illegible] القانون الثانى لكيرشوف على أى مسار مغلق.

* [illegible] القانون الثانى لكيرشوف تطبيقًا لقانون بقاء الطاقة الذى ينص على أنه فى أى مسار مغلق تكون [illegible] الكهربية الناتجة من المصدر تساوى الطاقة الكهربية المستهلكة خلال مكونات الدائرة.



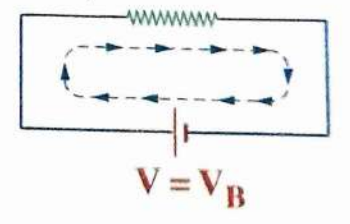


قاعدة تحديد إشارات فروق الجهد بين طرفى المقاومات والبطاريات

* يجب مراعاة قاعدة الإشارات الآتية عند تطبيق قانون كيرشوف الثانى على مسار مغلق :

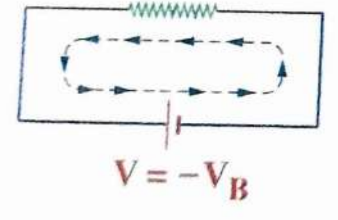
١ عند استخدام الصيغة الرياضية $(\Sigma V_B = \Sigma IR)$

– إذا كان اتجاه المسار الذى فرضناه من القطب السالب إلى القطب الموجب داخل مصدر الجهد (البطارية) فإن القوة الدافعة الكهربية لهذا المصدر تأخذ إشارة **موجبة**.



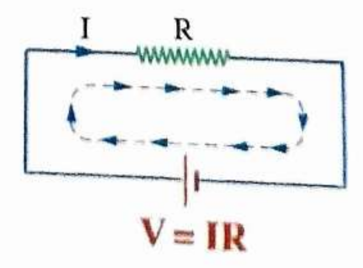
$V = V_B$

– إذا كان اتجاه المسار الذى فرضناه من القطب الموجب إلى القطب السالب داخل مصدر الجهد (البطارية) فإن القوة الدافعة الكهربية لهذا المصدر تأخذ إشارة **سالبة**.



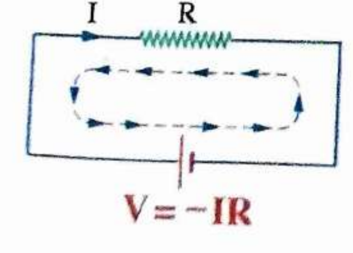
$V = -V_B$

– إذا كان اتجاه المسار الذى فرضناه هو **نفس اتجاه** التيار المار فى مقاومة ما، فإن فرق الجهد بين طرفى هذه المقاومة يأخذ إشارة **موجبة**.



$V = IR$

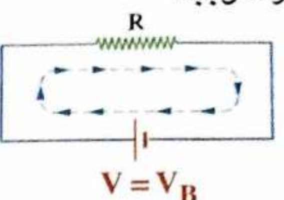
– إذا كان اتجاه المسار الذى فرضناه هو **عكس اتجاه** التيار المار فى مقاومة ما، فإن فرق الجهد بين طرفى هذه المقاومة يأخذ إشارة **سالبة**.



$V = -IR$

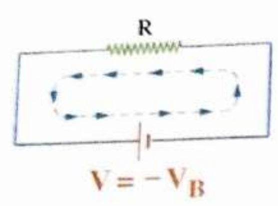
٢ عند استخدام الصيغة الرياضية $(\Sigma V = 0)$

– إذا كــان اتجـاه المســار الــذى فرضناه من القطب الســالب إلــى القطــب الموجــب داخــل مصــدر الجهد (البطاريــة) فإن القــوة الدافعة الكهربيــة لهذا المصدر تأخذ إشارة **موجبة**.



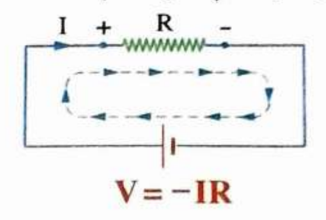
$V = V_B$

– إذا كان اتجاه المسار الذى فرضناه من القطب الموجب إلــى القطب الســالب داخل مصدر الجهــد (البطارية) فــإن القوة الدافعة الكهربية لهذا المصدر تأخذ إشــارة **سالبة**.



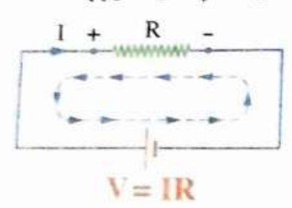
$V = -V_B$

– إذا كان اتجــاه المســار الذى فرضنــاه هو **نفس اتجاه** التيــار المار فى مقاومــة ما، فإن فرق الجهد بين طرفى هذه المقاومة يأخذ إشارة **سالبة**.



$V = -IR$

– إذا كان اتجاه المســار الــذى فرضناه هو **عكس اتجاه** التيــار المار فى مقاومة مــا، فإن فرق الجهد بين طرفى هذه المقاومة يأخذ إشارة **موجبة**.



$V = IR$

مثال

من الدائرة الموضحة،

احسب قيمة V_x ، V_y

الحل

$V_z = 4\ V$ | $V_k = 2\ V$ | $V_x = ?$ | $V_y = ?$

نفرض اتجاهات المسارات كما هو موضح بالدائرة :

بتطبيق قانون كيرشوف الثانى على المسار (adcba)

$$\Sigma V = 0$$

$$-V_x - V_k + V_z = 0$$

$$-V_x - 2 + 4 = 0$$

$$V_x = 2\ V$$

بتطبيق قانون كيرشوف الثانى على المسار (bcdb)

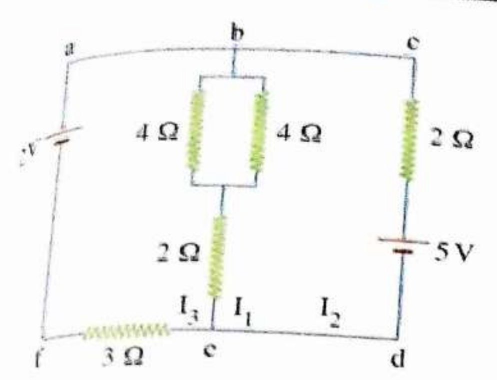
$$V_y - V_z = 0$$

$$V_y - 4 = 0$$

$$V_y = 4\ V$$

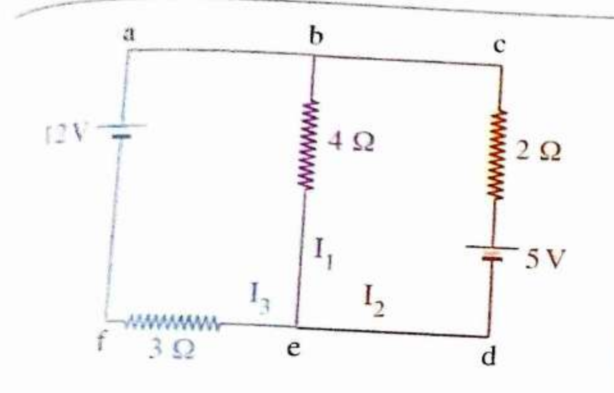
كيفية حل مسائل كيرشوف

* إذا كان لديك دائرة كهربية كالموضحة بالشكل فلحساب شدة التيار المار فى كل مقاومة نتبع الخطوات الآتية :



١

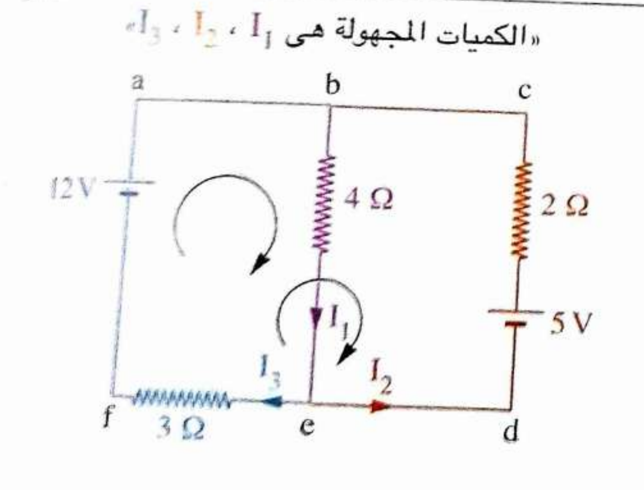
* إذا كان هناك مجموعة مقاومات متصلة معًا على التوالى أو التوازى يفضل إيجاد المقاومة المكافئة لها قبل البدء فى تطبيق قانونى كيرشوف.



٢

* افرض اتجاهًا معينًا لكل تيار مجهول **«هذه الاتجاهات ليست بالضرورة صحيحة».**
* حدد عدد الكميات المجهولة المراد حسابها.
* افرض اتجاهًا لكل مسار مغلق. **«مع عقارب الساعة أو عكس عقارب الساعة».**

«الكميات المجهولة هى I_1 ، I_2 ، I_3»



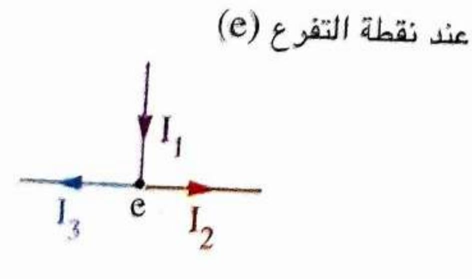
٣

* طبق قانون كيرشوف الأول عند نقطة تفرع التيار بحيث يكون :

$$\Sigma I_{(\text{الداخلة})} = \Sigma I_{(\text{الخارجة})}$$

وبذلك تكون قد حصلت على **المعادلة الأولى.**

عند نقطة التفرع (e)



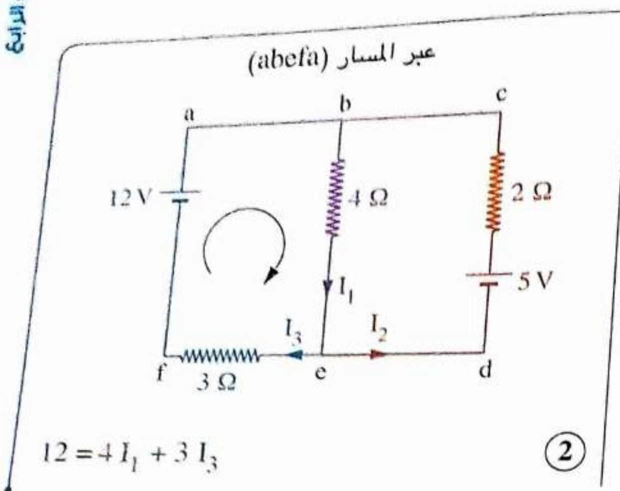
$$I_1 = I_2 + I_3 \quad (1)$$

٤ * اختر مسارًا مغلقًا وطبق قانون كيرشوف الثانى خلاله مع مراعاة قاعدة الإشارات بحيث يكون :

$$\Sigma V_B = \Sigma IR$$

وبذلك تكون قد حصلت على المعادلة الثانية.

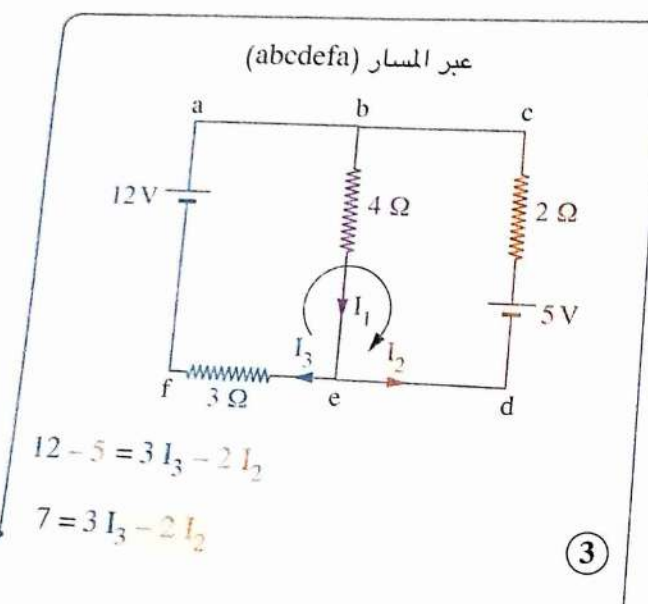
عبر المسار (abefa)



$12 = 4 I_1 + 3 I_3$ ②

٥ * كرر الخطوة السابقة على عدة مسارات حتى يتساوى عدد المعادلات مع عدد القيم المجهولة.

عبر المسار (abcdefa)



$12 - 5 = 3 I_3 - 2 I_2$

$7 = 3 I_3 - 2 I_2$ ③

٦ * حل المعادلات ①، ②، ③ آنيًا أو باستخدام الآلة الحاسبة وبذلك تكون قد حصلت على القيم المجهولة، وهى :

$I_1 = 1.5\ A \quad , \quad I_2 = -0.5\ A \quad , \quad I_3 = 2\ A$

* إذا كانت القيمة المحسوبة للتيار :
– **موجبة** : يكون الاتجاه الصحيح للتيار هو نفس الاتجاه المفروض فى البداية.
– **سالبة** : يكون الاتجاه الصحيح للتيار فى عكس الاتجاه المفروض فى البداية.

مثال ١

في الدائرة الموضحة بالشكل المقابل، احسب :
(أ) شدة التيار المار في كل فرع.
(ب) فرق الجهد بين النقطتين b ، a

الحل

(أ) بتطبيق قانون كيرشوف الأول عند النقطة (c)

$$\Sigma I_{(\text{الداخلة})} = \Sigma I_{(\text{الخارجة})}$$

$$I_1 + I_2 = I_3 \quad (1)$$

بتطبيق قانون كيرشوف الثانى على المسار (abcdefa)

$$\Sigma V_B = \Sigma IR$$

$$6 = 2\,I_1 + 5\,I_3 \quad (2)$$

بتطبيق قانون كيرشوف الثانى على المسار (fcdef)

$$\Sigma V_B = \Sigma IR$$

$$2 = 3\,I_2 + 5\,I_3 \quad (3)$$

بحل المعادلات (1) ، (2) ، (3) باستخدام الآلة الحاسبة :

$I_1 = 1.226$ A

$I_2 = -0.516$ A

$I_3 = 0.71$ A

(ب) حساب فرق الجهد بين النقطتين b ، a

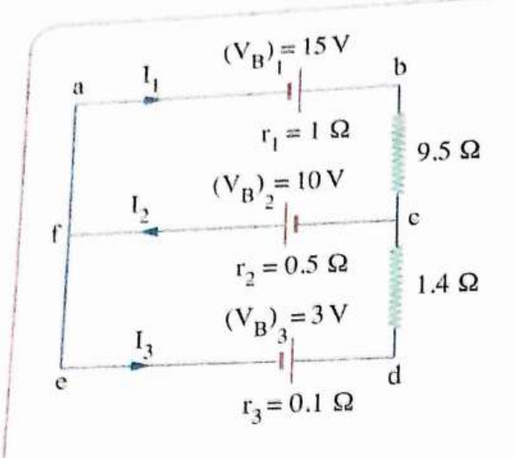
$$V_{ab} = (V_B)_1 - I_1 R$$

$$= 6 - (1.226 \times 2) = 3.548 \text{ V}$$

مثال ٢

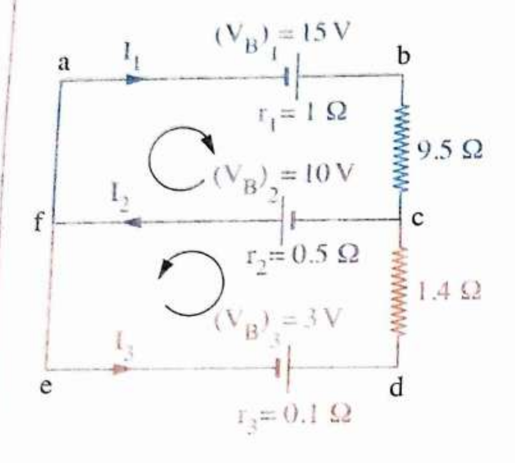
من الدائرة الموضحة بالشكل المقابل،

احسب قيمة شدة التيار المار فى كل فرع.



الحـــل

نفرض اتجاهات المسارات
كما هو موضح بالدائرة.



بتطبيق قانون كيرشوف الأول عند النقطة (f)

$$\Sigma I_{(\text{الداخلة})} = \Sigma I_{(\text{الخارجة})}$$

$$I_2 = I_1 + I_3 \quad ①$$

بتطبيق قانون كيرشوف الثانى على المسار (fabcf)

$$\Sigma V_B = \Sigma IR$$

$$15 + 10 = (1 + 9.5)\, I_1 + 0.5\, I_2$$

$$25 = 10.5\, I_1 + 0.5\, I_2 \quad ②$$

بتطبيق قانون كيرشوف الثانى على المسار (edcfe)

$$\Sigma V_B = \Sigma IR$$

$$3 + 10 = (0.1 + 1.4)\, I_3 + 0.5\, I_2$$

$$13 = 1.5\, I_3 + 0.5\, I_2 \quad ③$$

① ، ② ، ③ باستخدام الآلة الحاسبة :

$$I_1 = 2\ A \quad , \quad I_2 = 8\ A \quad , \quad I_3 = 6\ A$$

مثال (٣)

من الدائرة الموضحة بالشكل المقابل، احسب :

(أ) شدة التيار المار فى كل بطارية.

(ب) فرق الجهد بين قطبى كل بطارية.

(جـ) فرق الجهد بين طرفى المقاومة $5\ \Omega$

الحل

(أ) نفرض اتجاهات التيارات والمسارات كما هو موضح بالدائرة.

بتطبيق قانون كيرشوف الأول عند النقطة (e)

$$\Sigma I_{(\text{الداخلة})} = \Sigma I_{(\text{الخارجة})} \qquad I_1 + I_2 = I_3 \qquad (1)$$

بتطبيق قانون كيرشوف الثانى على المسار (cbagehc)

$$\Sigma V_B = \Sigma IR$$

$$20 - 30 = I_1 - 2\,I_2 \qquad -10 = I_1 - 2\,I_2 \qquad (2)$$

بتطبيق قانون كيرشوف الثانى على المسار (dbagefd)

$$\Sigma V_B = \Sigma IR$$

$$20 - 15 = I_1 + 5\,I_3 \qquad 5 = I_1 + 5\,I_3 \qquad (3)$$

وبحل المعادلات (1) ، (2) ، (3) باستخدام الآلة الحاسبة :

$$I_1 = -2.35\ A \quad , \quad I_2 = 3.824\ A \quad , \quad \mathbf{I_3 = 1.47\ A}$$

(ب) حساب فرق الجهد بين قطبى البطارية 20 V :

$$V_1 = (V_B)_1 - I_1 r_1 = 20 - (-2.35 \times 1) = 22.35\ V$$

حساب فرق الجهد بين قطبى البطارية 30 V :

$$V_2 = (V_B)_2 - I_2 r_2 = 30 - (3.824 \times 2) = 22.35\ V$$

فرق الجهد بين قطبى البطارية 15 V :

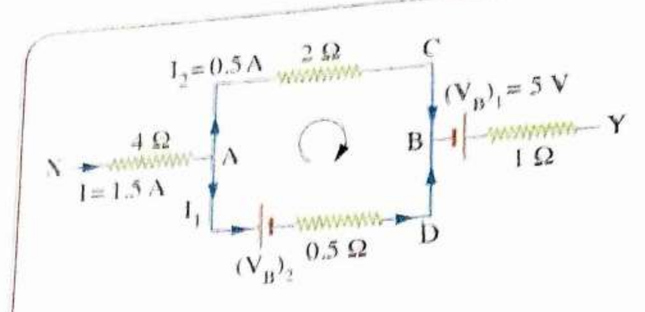
$$V_3 = 15\ V$$

(جـ) فرق الجهد بين طرفى المقاومة $5\ \Omega$:

$$V = I_3 \times 5 = 1.47 \times 5 = 7.35\ V$$

مثال ٤

الشكل المقابل يمثل جزءًا من دائرة كهربية، باستخدام قانونى كيرشوف وملتزمًا باتجاهات التيار والمسار والبيانات الموضحة، **احسب :**



(أ) فرق الجهد بين النقطتين X , Y

(ب) ق.د.ك للبطارية $(V_B)_2$.

(مع إهمال المقاومة الداخلية للمصدرين)

الحل

(أ) بتطبيق قانون كيرشوف الثانى على المسار (XACBYX)

$$\Sigma V_B = \Sigma IR$$

$$5 + V_{XY} = (1.5 \times 4) + (0.5 \times 2) + (1.5 \times 1)$$

$$V_{XY} = 3.5 \text{ V}$$

(ب) بتطبيق قانون كيرشوف الأول عند النقطة (A)

$$\Sigma I_{(\text{الداخلة})} = \Sigma I_{(\text{الخارجة})}$$

$$1.5 = I_1 + 0.5 \quad , \quad I_1 = 1 \text{ A}$$

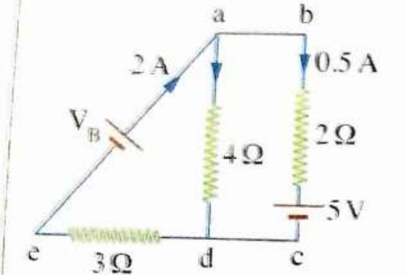
بتطبيق قانون كيرشوف الثانى على المسار (ACBDA)

$$(V_B)_2 = (0.5 \times 2) - (1 \times 0.5) = 0.5 \text{ V}$$

12 اختبر نفسك

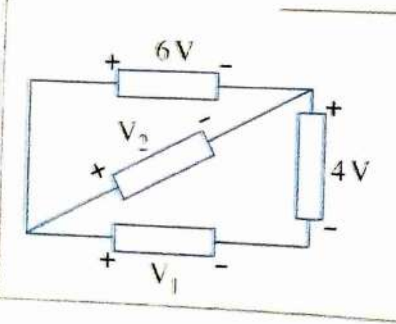
مجاب عنها

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :



١ فى الشكل الموضح تكون قيمة V_B هى ....

(أ) 4 V
(ب) 8 V
(ج) 12 V
(د) 18 V



٢ فى الدائرة الموضحة، تكون قيمة V_1 هى ....

(أ) 4 V
(ب) 6 V
(ج) 8 V
(د) 10 V

الوحـدة الأولـى
الكهربيـة التياريـة
والكهرومغناطيسية

الفصل 2

التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى وأجهزة القياس الكهربى

الدرس الأول	التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى
الدرس الثانى	تابع التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى
الدرس الثالث	• القوة المغناطيسية • عزم الازدواج
الدرس الرابع	أجهزة القياس الكهربى

2022/07/19 18



الدرس الأول

التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى

فى هذا الدرس سوف نتعرف :

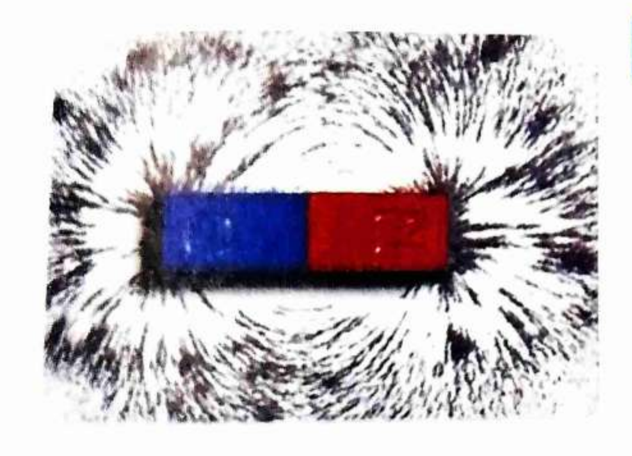
- الفيض المغناطيسى.
- المجال المغناطيسى الناشئ عن مرور تيار كهربى فى سلك مستقيم.
- كثافة الفيض المغناطيسى الناشئ عن مرور تيارين فى سلكين متوازيين.

* المغناطيس حجر طبيعي يجذب الأجسام التي تحتوي على حديد كدبابيس الورق والمسامير، وتسمى المنطقة المحيطة بالمغناطيس والتي يظهر فيها تأثيره على هذه الأجسام **بالمجال المغناطيسي للمغناطيس**.

* ثبت علميًا أن «**الأقطاب المغناطيسية المتشابهة تتنافر والأقطاب المغناطيسية المختلفة تتجاذب**» لذلك عند تعليق مغناطيس حر الحركة من منتصفه فإن أحد قطبيه يشير إلى اتجاه الشمال المغناطيسي ويسمى القطب الباحث عن الشمال أو اختصارًا **القطب الشمالي للمغناطيس** بينما يشير القطب الآخر إلى اتجاه الجنوب المغناطيسي ويسمى القطب الباحث عن الجنوب أو اختصارًا **القطب الجنوبي للمغناطيس**.

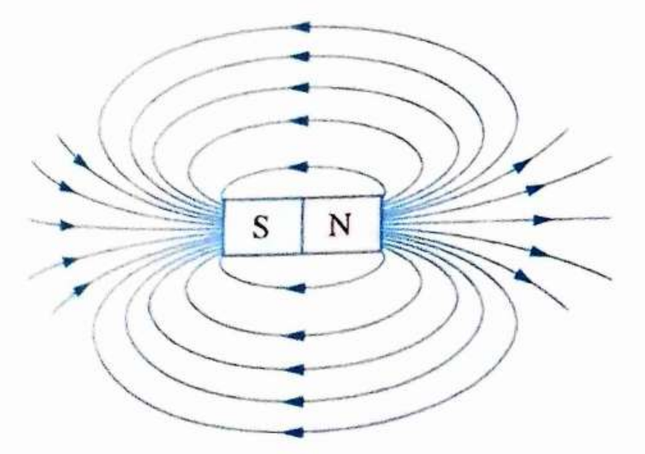
ويسمى المستوى الذي يستقر فيه المغناطيس **مستوى الزوال المغناطيسي** (فكرة عمل البوصلة).

تخطيط المجال المغناطيسي لقضيب مغناطيسي



* عند نثر برادة حديد على لوح ورق مقوى ووضع قضيب مغناطيسي فوق اللوح ثم الطرق على لوح الورق طرقات خفيفة تترتب برادة الحديد على هيئة خطوط منحنية تسمى **خطوط الفيض المغناطيسي** (خطوط المجال المغناطيسي).

خواص خطوط الفيض المغناطيسي





1. تتجه من القطب الشمالي للمغناطيس إلى القطب الجنوبي للمغناطيس خارج المغناطيس ومن القطب الجنوبي للمغناطيس إلى القطب الشمالي للمغناطيس داخل المغناطيس، أي أنها تُكوِّن مسارات مغلقة.

لا تتقاطع مع بعضها.

تتزاحم عند قطبي المغناطيس وتتباعد بالبُعد عن القطبين.

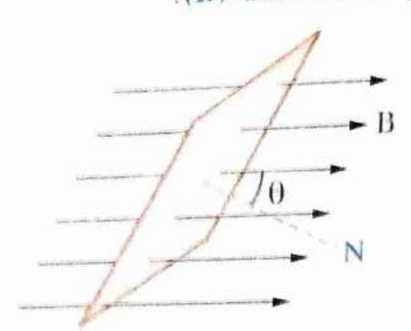
اتجاه المجال المغناطيسي عند أي نقطة هو المماس لخط المجال عند تلك النقطة.

الفيض المغناطيسى Magnetic flux

* يُعبر عن شدة المجال المغناطيسى عند نقطة **بكثافة الفيض المغناطيسى عند تلك النقطة (B)**.

كثافة الفيض المغناطيسى عند نقطة (B)

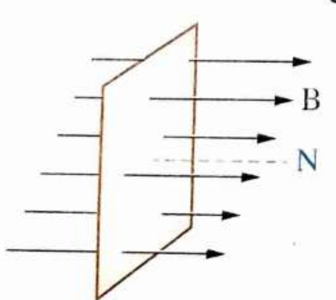
الفيض المغناطيســى لوحـدة المســاحات العمودية على خطوط الفيض المحيطة بتلك النقطة.



* إذا وُضع سطح مساحته A فى مجال مغناطيسى، فــإن الفيــض المغناطيســى (ϕ_m) خــلال الســطح يتعين من العلاقة :

$$\phi_m = BA \cos\theta$$

حيث : (θ) الزاوية المحصورة بين اتجاه المجال والعمودى على المساحة (N).



فإذا كانت خطوط الفيض

– موازية للمساحة : $\theta = 90°$	– عمودية على المساحة : $\theta = 0°$
N, B	B, N
فإن	
$\phi_m = BA\cos 90 = 0$	$\phi_m = BA\cos 0 = BA$
... ينعدم الفيض المغناطيسى خلال هذه المساحة	أى يكون الفيض المغناطيسى خلال هذه المساحة **قيمة عظمى**

... المغناطيسى (ϕ_m) هى **الويبر** (**Weber "Wb"**)

... الفيض المغناطيسى أو شدة المجال المغناطيسى (B) هى **الويبر/متر٢** (**Wb/m²**) وتكافئ **التسلا** (**Tesla "T"**)

مثال

ملف مساحة مقطعه $0.3\ m^2$ وضع فى مجال مغناطيسى منتظم كثافة فيضه $0.05\ T$،

احسب الفيض المغناطيسى الذى يمر خلال مقطع الملف إذا كان الملف :

(أ) عمودى على الفيض. (ب) موازى للفيض.

(جـ) يصنع زاوية $30°$ مع الفيض.

الحل

$A = 0.3\ m^2$ | $B = 0.05\ T$ | $\phi_m = ?$

(أ) $\phi_m = BA\cos\theta = 0.05 \times 0.3 \times \cos 0 = \mathbf{0.015\ Wb}$

(ب) $\phi_m = 0$

(جـ) $\phi_m = 0.05 \times 0.3 \times \cos 60 = \mathbf{7.5 \times 10^{-3}\ Wb}$

إرشاد

* إذا دار الملف بزاوية θ من الوضع :

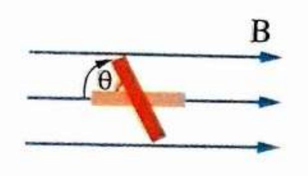
العمودى على المجال



$\phi_m = BA\cos\theta$

فإن

الموازى للمجال



$\phi_m = BA\cos(90 - \theta)$

مثال

ملف مساحته $2\ m^2$ وضع فى مجال مغناطيسى كثافة فيضه $0.05\ Wb/m^2$،

احسب الفيض المغناطيسى عندما يدور الملف :

(أ) بزاوية $30°$ مبتدءًا من الوضع العمودى على المجال.

(ب) بزاوية $30°$ مبتدءًا من الوضع الموازى للمجال.

الحل

$A = 2\ m^2$ | $B = 0.05\ Wb/m^2$ | $\phi_m = ?$

(أ) $\phi_m = BA\cos\theta = 0.05 \times 2 \times \cos 30 = \mathbf{0.087\ Wb}$

(ب) $\phi_m = BA\cos(90 - \theta) = 0.05 \times 2 \times \cos 60 = \mathbf{0.05\ Wb}$

13 اختبـر نفسـك

مجاب عنها

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

B M P

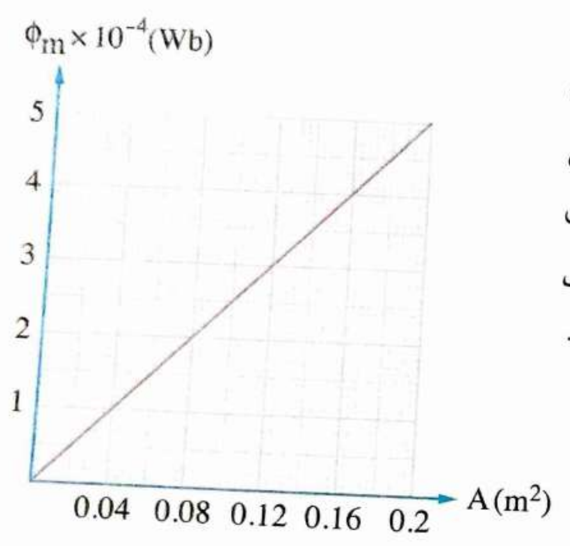
١ في الشكل المقابل إذا كانت مساحة الملف M ضعف مساحة الملـف P والملف M يصنع زاوية 60° مع اتجاه المجال فإن نسبة الفيض المغناطيسى الذى يخترق الملف M إلى الفيض المغناطيسى الذى يخترق الملف P تساوى ....

(أ) 0.577

(ب) 0.866

(جـ) 1.732

(د) 3.464



٢ وُضعت عدة ملفات مستطيلة مختلفة المساحة كل على حـدة فى مجـال مغناطيســى منتظم بحيـث يميل كل منها على اتجاه المجال بزاوية 60°، والشـكل البيانى المقابـل يوضـح العلاقة بين الفيض الكلـى المار خلال الملف (ϕ_m) ومساحة الملف (A)، فتكون كثافة الفيض المغناطيسى المؤثر على جميع الملفات هى ....

(أ) 2.5×10^{-3} T

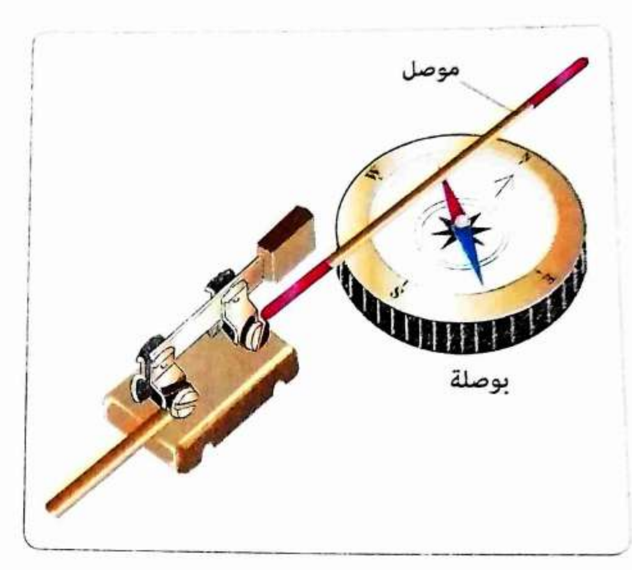
(ب) 2.75×10^{-3} T

(جـ) 2.89×10^{-3} T

(د) 5×10^{-3} T

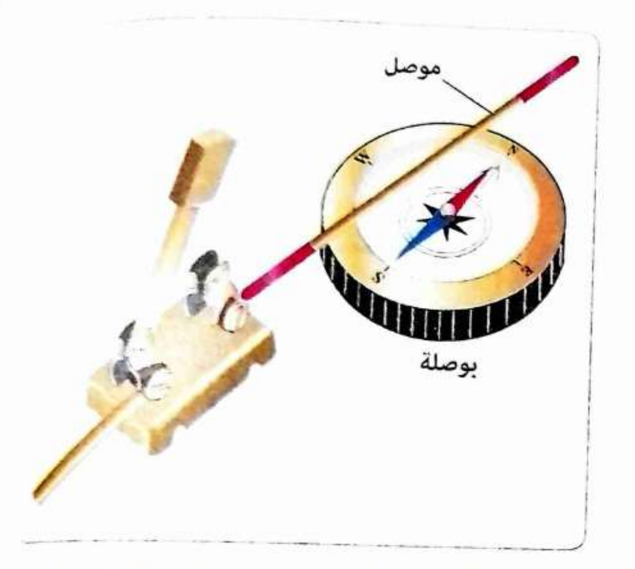
التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى

* مثلما يوجد مجال مغناطيسى حول مغناطيس فإن مرور التيار الكهربى فى موصل يُنشئ مجال مغناطيسى حول هذا الموصل وهو ما يطلق عليه **التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى** وهذا ما اكتشفه العالم الدنماركى هانز أورستد عام ١٨١٩م عندما وضع إبرة بوصلة صغيرة فوق أو أسفل سلك يمر به تيار كهربى ومحوره موازى له فلاحظ انحراف إبرة البوصلة (شكل (١)) وعندما قطع التيار الكهربى استعادت إبرة البوصلة اتجاهها الأصلى (شكل (٢)).



يمر تيار فتنحرف إبرة البوصلة

شكل (١)

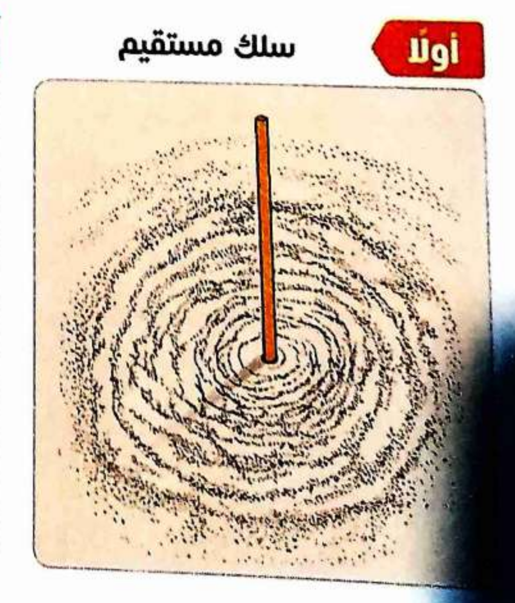


تشير الإبرة إلى اتجاهها الطبيعى فى حالة قطع التيار

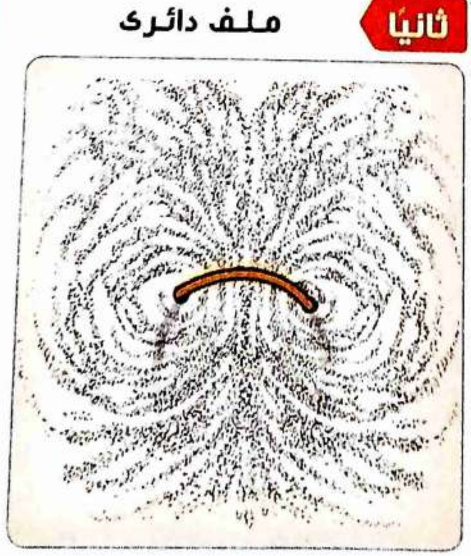
شكل (٢)

* **فيما يلى سندرس المجال المغناطيسى الناشئ عن مرور تيار كهربى فى موصل على هيئة :**

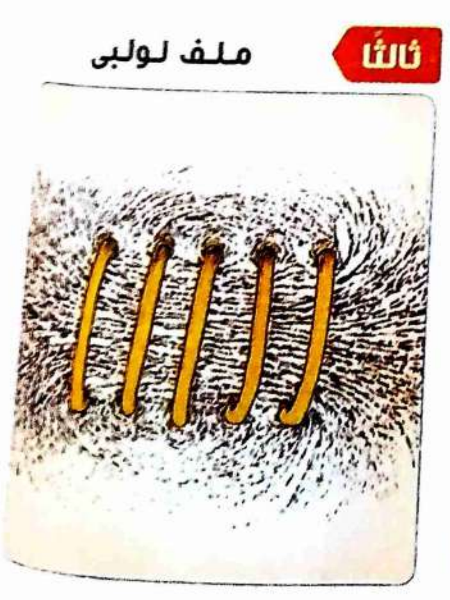
أولًا سلك مستقيم



ثانيًا ملف دائرى



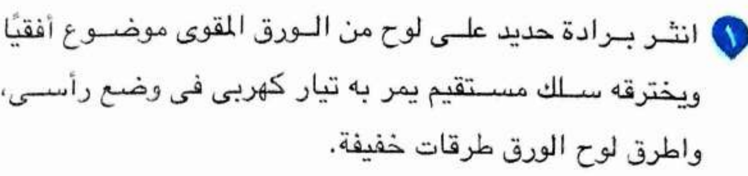
ثالثًا ملف لولبى

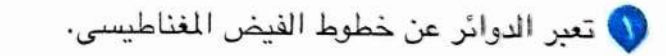


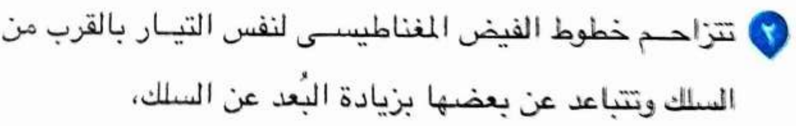
أولاً المجال المغناطيسى الناشئ عن مرور تيار كهربى فى سلك مستقيم

شكل خطوط الفيض المغناطيسى

للتعرف على شكل خطوط الفيض المغناطيسى نجرى الخطوات الآتية







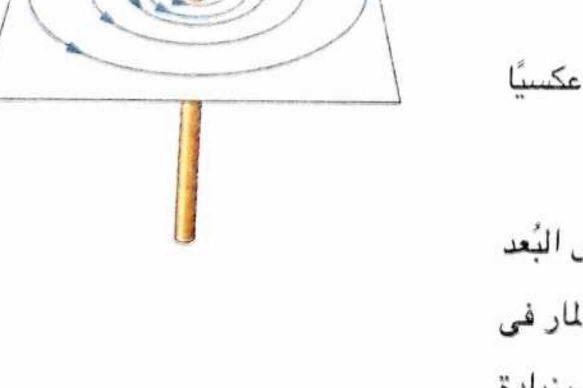
١ انثر برادة حديد على لوح من الورق المقوى موضوع أفقيًا ويخترقه سلك مستقيم يمر به تيار كهربى فى وضع رأسى، واطرق لوح الورق طرقات خفيفة.

الملاحظة : تترتب برادة الحديد على هيئة دوائر متحدة المركز ومركزها السلك بحيث تتزاحم الدوائر بالقرب من السلك وتتباعد ببعدها عنه كما بالشكل.

٢ قم بزيادة شدة التيار الكهربى المار فى السلك، واطرق لوح الورق مرة أخرى.

الملاحظة : يزداد تزاحم الدوائر حول السلك.

الاستنتاج



١ تعبر الدوائر عن خطوط الفيض المغناطيسى.

٢ تتزاحم خطوط الفيض المغناطيسى لنفس التيار بالقرب من السلك وتتباعد عن بعضها بزيادة البُعد عن السلك،

أى أن كثافة الفيض المغناطيسى عند أى نقطة تتناسب عكسيًا مع بُعدها العمودى عن محور السلك ($B \propto \frac{1}{d}$).

٣ يزداد تزاحم خطوط الفيض المغناطيسى على نفس البُعد العمودى عن السلك عند زيادة شدة التيار الكهربى المار فى [illegible] يدل على أن شدة المجال المغناطيسى تزداد بزيادة [illegible] الكهربى المار فى السلك وتقل بنقص شدة التيار [illegible] المغناطيسى تتناسب طرديًا مع شدة التيار الكهربى ($B \propto I$).

حساب كثافة الفيض المغناطيسى

* عند مرور تيار كهربى شدته I فى سلك مستقيم فإن كثافة الفيض المغناطيسى (B) عند نقطة بُعدها العمودى عن محور السلك d :

– تتناسب طرديًا مع شدة التيار الكهربى المار فى السلك : $B \propto I$

– تتناسب عكسيًا مع البُعد العمودى عن محور السلك : $B \propto \frac{1}{d}$

$\therefore B \propto \frac{I}{d}$ $\therefore B = \text{constant} \times \frac{I}{d}$

$$\therefore \quad B = \frac{\mu I}{2 \pi d}$$

وتسمى هذه العلاقة **قانون أمبير الدائرى**،

حيث : (μ) **معامل النفاذية المغناطيسية للوسط** وهو ثابت للوسط الواحد.

معامل النفاذية المغناطيسية لوسط (μ)

قابلية الوسط لنفاذ الفيض المغناطيسى خلاله.

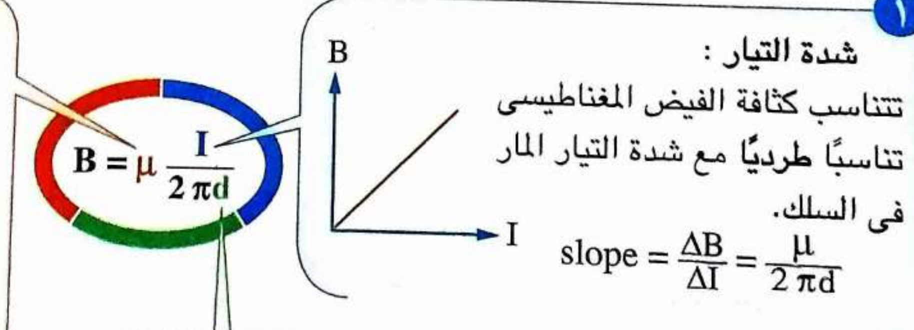
وحدة قياسه هى **تسلا.متر/أمبير (T.m/A) وتكافئ وبر/أمبير.متر (Wb/A.m)**

* معامل النفاذية المغناطيسية للهواء = $4 \pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m

فتصبح كثافة الفيض المغناطيسى فى الهواء :

$$B = \frac{4 \pi \times 10^{-7} I}{2 \pi d} = 2 \times 10^{-7} \frac{I}{d}$$

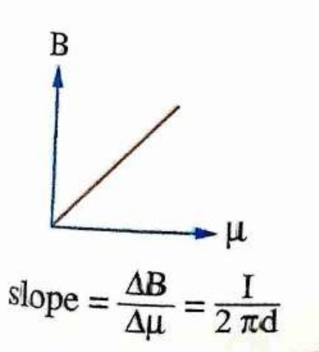
العوامل التى تتوقف عليها كثافة الفيض المغناطيسى



١ شدة التيار :
تتناسب كثافة الفيض المغناطيسى تناسبًا **طرديًا** مع شدة التيار المار فى السلك.

$$\text{slope} = \frac{\Delta B}{\Delta I} = \frac{\mu}{2 \pi d}$$

٢ معامل النفاذية المغناطيسية للوسط :
تتناسب كثافة الفيض المغناطيسى تناسبًا **طرديًا** مع معامل النفاذية المغناطيسية للوسط.
(ثابت للوسط الواحد)



$$\text{slope} = \frac{\Delta B}{\Delta \mu} = \frac{I}{2 \pi d}$$

٣ البُعد العمودى للنقطة عن محور السلك :
تتناسب كثافة الفيض المغناطيسى تناسبًا **عكسيًا** مع البُعد العمودى للنقطة عن محور السلك.

B — $\frac{1}{d}$

$$\text{slope} = \frac{\Delta B}{\Delta (\frac{1}{d})} = \frac{\mu I}{2 \pi}$$

قاعدة اليد اليمنى لأمبير

الاستخدام

تحديد اتجاه خطوط الفيض (المجال) المغناطيسى الناشئ عن مرور تيار كهربى فى سلك مستقيم.

نص القاعدة (طريقة الاستخدام)

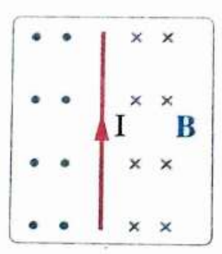
تخيل أنك تقبض باليد اليمنى على السلك بحيث يشير الإبهام لاتجاه التيار فإن اتجاه التفاف باقى الأصابع يشير لاتجاه الفيض المغناطيسى.



* **ينصح ببناء المساكن بعيدًا عن أبراج الضغط الكهربى العالى،**
لتقليل تأثير المجال المغناطيسى الضار على الصحة والبيئة حيث إن كثافة الفيض المغناطيسى تقل بزيادة البُعد عن مصدر التيار حيث $(B \propto \frac{1}{d})$.

* **عند تحديد اتجاه المجال المغناطيسى الناشئ عن مرور تيار كهربى فى سلك مستقيم عندما نقوم برسم السلك :**

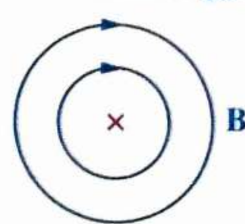
١ فى مستوى الصفحة

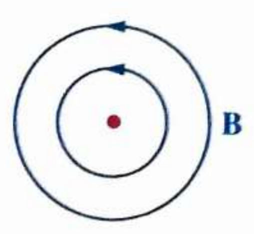


تشير العلامة

×	•
إلى أن خطوط الفيض المغناطيسى عمودية على الصفحة **وإلى الداخل**	إلى أن خطوط الفيض المغناطيسى عمودية على الصفحة **وإلى الخارج**

٢ [illegible] على مستوى الصفحة





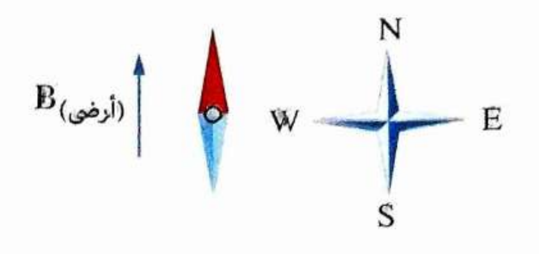
تشير العلامة

×	•
إلى أن اتجاه التيار **لداخل** الصفحة	إلى أن اتجاه التيار **لخارج** الصفحة

* عند وضع إبرة مغناطيسية فى مجال مغناطيسى فإنها تتخذ اتجاه هذا المجال، فإذا وُضعت فى :

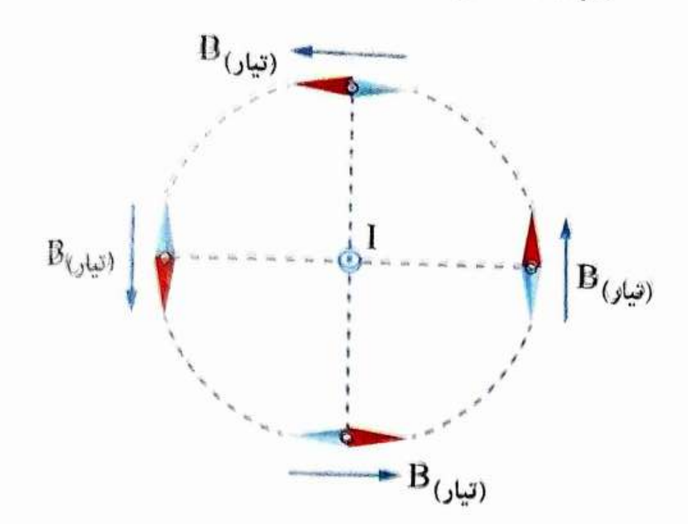
١ المجال المغناطيسى للأرض :

تشير لاتجاهى الشمال والجنوب الجغرافى المغناطيسى.



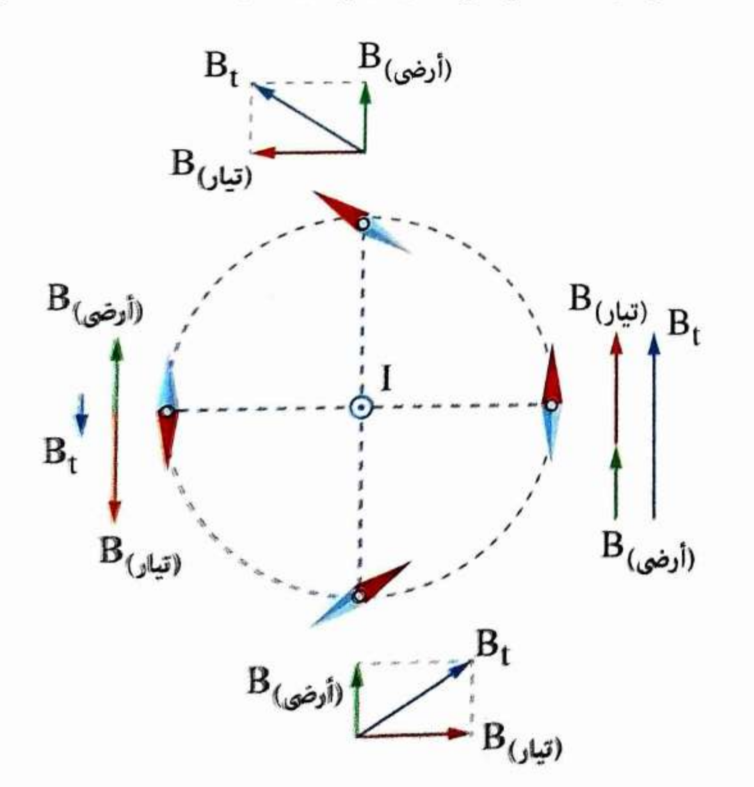
٢ المجال المغناطيسى الناشئ عن تيار كهربى يمر فى سلك مستقيم :

تشير لاتجاه المجال المغناطيسى عند كل نقطة وهو اتجاه المماس لخط الفيض عند هذه النقطة.



٣ المجالين معًا (المجال المغناطيسى للأرض والمجال المغناطيسى الناشئ عن تيار كهربى يمر فى سلك مستقيم).

تشير الإبرة إلى اتجاه محصلة كثافتى الفيض فإذا كانت كثافة الفيض المغناطيسى الناشئ عن مرور التيار فى السلك أكبر من كثافة الفيض المغناطيسى للأرض يكون اتجاه المحصلة كالتالى :





مثال

احسب كثافة الفيض المغناطيسى عند نقطة فى الهواء على بُعد 10 cm من محور سلك مستقيم طويل يمر به تيار شدته 10 A (علمًا بأن : $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m)

الحل

$d = 0.1$ m | $I = 10$ A | $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m | $B = ?$

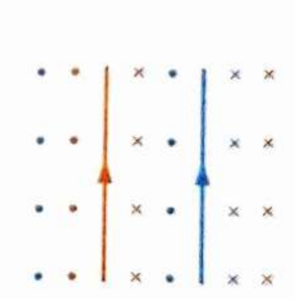
$$B = \frac{\mu I}{2\pi d} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 10}{2\pi \times 0.1} = 2 \times 10^{-5}\ T$$

كثافة الفيض المغناطيسى الناشئ عن مرور تيارين فى سلكين متوازيين

* إذا كان التياران المارّان فى السلكين :

فى نفس الاتجاه

شكل المجال



كثافة الفيض عند أى نقطة تقع بين السلكين

– يكون اتجاه خطوط المجال بين السلكين فى اتجاهين متضادين، فتكون محصلة كثافة الفيض عند نقطة تقع بين السلكين :

$B_t = B_1 - B_2$ (بفرض أن $B_1 > B_2$)

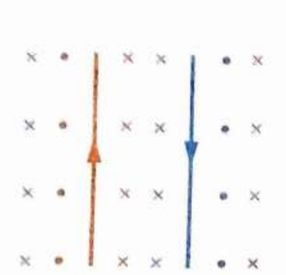
كثافة الفيض عند أى نقطة تقع خارج المنطقة بين السلكين

– يكون اتجاه خطوط المجال خارج السلكين فى نفس الاتجاه، فتكون محصلة كثافة الفيض عند نقطة تقع خارج المنطقة بين السلكين :

$B_t = B_1 + B_2$

فى اتجاهين متضادين

شكل المجال



كثافة الفيض عند أى نقطة تقع بين السلكين

– يكون اتجاه خطوط المجال بين السلكين فى نفس الاتجاه، فتكون محصلة كثافة الفيض عند نقطة تقع بين السلكين :

$B_t = B_1 + B_2$

كثافة الفيض عند أى نقطة تقع خارج المنطقة بين السلكين

– يكون اتجاه خطوط المجال خارج المنطقة بين السلكين فى اتجاهين متضادين، فتكون محصلة كثافة الفيض عند نقطة تقع خارج المنطقة بين السلكين :

$B_t = B_1 - B_2$ (بفرض أن $B_1 > B_2$)

نقطة التعادل
(نقطة تنعدم عندها كثافة الفيض المغناطيسى)

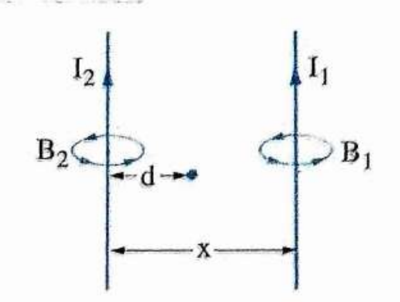
- تقع فى المنطقة بين السلكين عندما تكون $B_1 = B_2$

وبذلك تكون : $B_t = B_1 - B_2 = 0$

- تقع خارج المنطقة بين السلكين عندما تكون $B_1 = B_2$

وبذلك تكون : $B_t = B_1 - B_2 = 0$

ويمكن حساب بُعد نقطة التعادل كما يلى

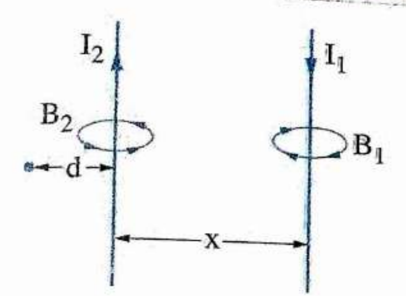


$B_t = zero$

$B_1 = B_2$

$$\mu \frac{I_1}{2\pi(x-d)} = \mu \frac{I_2}{2\pi d}$$

$$\frac{I_1}{x-d} = \frac{I_2}{d}$$



$B_t = zero$

$B_1 = B_2$

$$\mu \frac{I_1}{2\pi(x+d)} = \mu \frac{I_2}{2\pi d}$$

$$\frac{I_1}{x+d} = \frac{I_2}{d}$$

(حيث : (d) بُعد نقطة التعادل عن السلك ذى التيار الأقل)

مما سبق نستنتج أن :

- **إذا مر فى سلكين تياران مختلفان تكون نقطة التعادل دائمًا أقرب للسلك الذى يمر به تيار أقل.**
- **نقطة التعادل لسلكين متوازيين يمر بكل منهما تيار كهربى فى نفس الاتجاه تقع فى المنطقة بين السلكين.**

لتولد مجالين مغناطيسيين متضادين عند أى نقطة بين السلكين فتتكون نقطة التعادل فى المنطقة بين السلكين عندما يلاشى تأثير كل منهما تأثير الآخر.

- **نقطة التعادل لسلكين متوازيين يمر بكل منهما تيار كهربى فى اتجاهين متضادين تقع خارج المنطقة بين السلكين.**

لتولد مجالين مغناطيسيين متضادين عند أى نقطة خارج المنطقة بين السلكين فتتكون نقطة التعادل خارج المنطقة بين السلكين عندما يلاشى تأثير كل منهما تأثير الآخر.

- **نقطة التعادل بين سلكين تقع فى منتصف المسافة بينهما.**

عندما يمر فى السلكين نفس التيار وفى نفس الاتجاه.

- **لا تتكون نقطة تعادل لسلكين إذا مر فى السلكين تياران متساويان فى الشدة ومتضادان فى الاتجاه.**

لأن عند أى نقطة خارج السلكين تكون كثافة الفيض الناشئة عن السلك الأول لا تساوى كثافة الفيض الناشئة عن السلك الثانى لاختلاف المسافة بين كل من السلكين وتلك النقطة.

مثال ١

سلكان مستقيمان متوازيان وضعا فى الهواء على بُعد 30 cm من بعضهما ، يمر فى أحدهما تيار كهربى شدته 40 A ويمر فى الثانى تيار كهربى شدته 20 A،

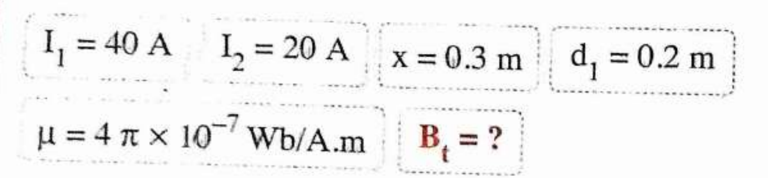
احسب كثافة الفيض المغناطيسى المتولد عند نقطة بينهما تبعد 20 cm عن السلك الأول عندما يكون التياران الماران فى السلكين :

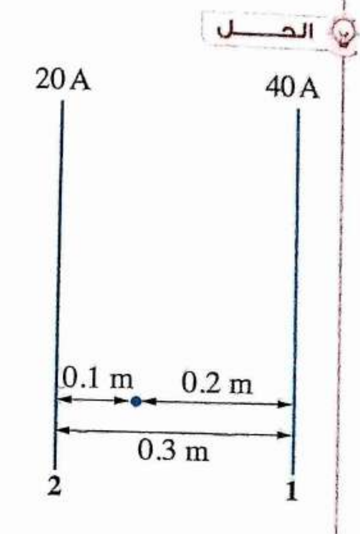
(أ) فى اتجاه واحد.

(ب) فى اتجاهين متضادين.

(علمًا بأن : $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m)

الحـــل





$$B = \frac{\mu I}{2\pi d}$$

$$B_1 = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 40}{2\pi \times 0.2} = 4 \times 10^{-5}\ \text{T}$$

$$B_2 = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 20}{2\pi \times 0.1} = 4 \times 10^{-5}\ \text{T}$$

(أ) $B_t = B_1 - B_2 = 0$

(ب) $B_t = B_1 + B_2 = 8 \times 10^{-5}\ \text{T}$

المسافة بينهما فى الهواء 0.3 m يمر بأحدهما تيار شدته 2 A ويمر بالآخر تيار شدته

عن كل من السلكين فى الحالتين الآتيتين :

السلكين فى نفس الاتجاه.

السلكين فى اتجاهين متضادين.

الحــــل

$x = 0.3\ m$	$I_1 = 2\ A$	$I_2 = 3\ A$	$d_1 = ?$	$d_2 = ?$

(أ)

2A 3A d_1 d_2 0.3 m

$$B_1 = B_2$$

$$\frac{I_1}{d_1} = \frac{I_2}{d_2}$$

$$\frac{2}{d_1} = \frac{3}{0.3 - d_1}$$

$$3d_1 = 0.6 - 2d_1$$

$$5d_1 = 0.6$$

$$\therefore d_1 = 0.12\ m$$

$$\therefore d_2 = 0.3 - 0.12 = 0.18\ m$$

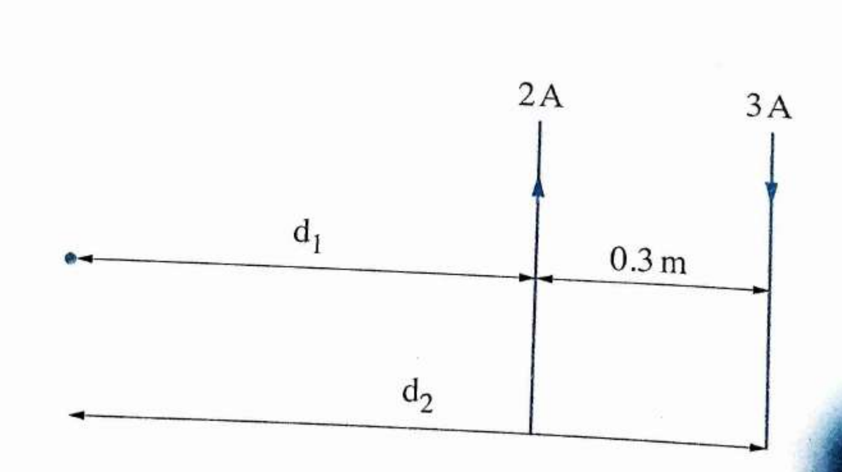
∴ نقطة التعادل على بُعد **0.12 m** من السلك الأول و **0.18 m** من السلك الثانى.

(ب)

$$B_1 = B_2$$

$$\frac{I_1}{d_1} = \frac{I_2}{d_2}$$

$$\frac{2}{d_1} = \frac{3}{0.3 + d_1}$$



$$3d_1 = 0.6 + 2d_1$$

$$d_1 = 0.6\ m$$

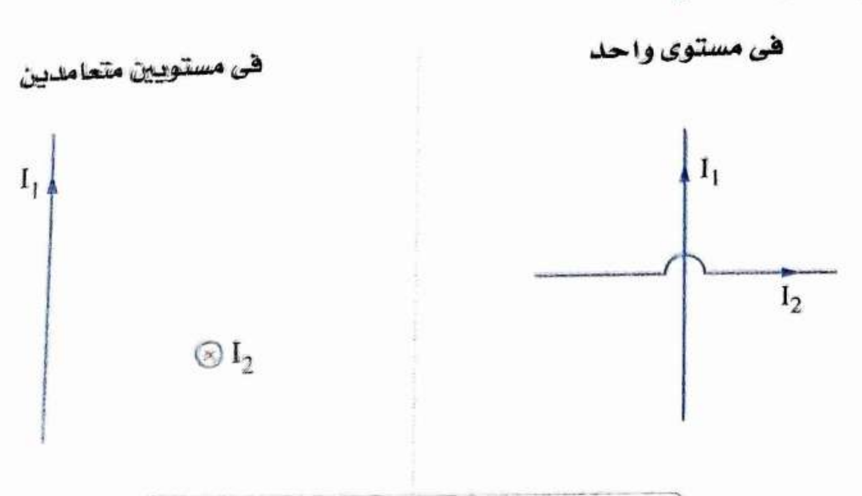
$$\therefore d_2 = 0.3 + 0.6 = 0.9\ m$$

∴ نقطة التعادل على بُعد **0.6 m** من السلك الأول و **0.9 m** من السلك الثانى.

إرشاد

* لتعيين محصلة كثافة الفيض المغناطيسى عند نقطة والناشئ عن مرور تيار كهربى فى سلكين متعامدين ومعزولين تستخدم قاعدة اليد اليمنى لأمبير لتحديد اتجاه الفيض المغناطيسى الناشئ عن كل تيار كهربى عند هذه النقطة، فإذا كان السلكان :

فى مستوى واحد	فى مستويين متعامدين



فإن محصلة كثافة الفيض المغناطيسى عند

– نقطة معينة :

- إذا كان اتجاهى كثافة الفيض فى نفس الاتجاه :

$$B_t = B_1 + B_2$$

- إذا كان اتجاهى كثافة الفيض فى اتجاهين متضادين :

$$B_t = B_1 - B_2$$

– أى نقطة :

$$B_t = \sqrt{B_1^2 + B_2^2}$$

نقطة التعادل

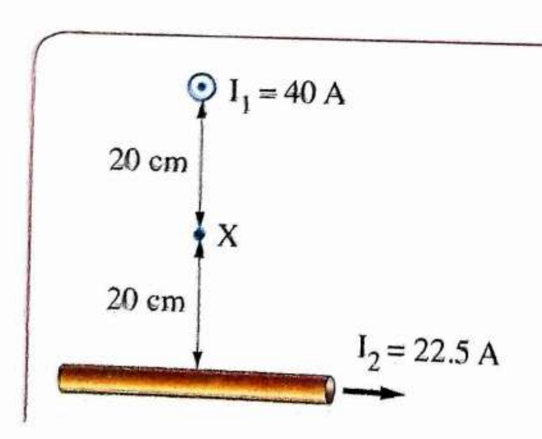
– يمكن أن توجد نقطتا تعادل حول السلكين.

– لا توجد نقطة تعادل حول السلكين حيث إن اتجاهى كثافة الفيض دائمًا متعامدين على بعضهما البعض.

مثال

فى الشكل المقابل سلكان مستقيمان طويلان متعامدان على بعضهما وأقصر مسافة بينهما 40 cm، احسب محصلة كثافة الفيض المغناطيسى عند النقطة X

علمًا بأن : ($\mu_{(هواء)} = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m)



الحـــل

$I_1 = 40\ A$	$I_2 = 22.5\ A$	$d_1 = 20\ cm$	$d_2 = 20\ cm$
$\mu_{(هواء)} = 4\pi \times 10^{-7}\ Wb/A.m$	$B_t = ?$		

$$B = \frac{\mu I}{2\pi d}$$

$$B_1 = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 40}{2\pi \times 20 \times 10^{-2}}$$

$$= 4 \times 10^{-5}\ T$$

اتجاهه عند النقطة X فى مستوى الصفحة جهة اليمين.

$$B_2 = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 22.5}{2\pi \times 20 \times 10^{-2}}$$

$$= 2.25 \times 10^{-5}\ T$$

اتجاهه عند النقطة X عمودى على الصفحة إلى الخارج.

∵ المجالين المغناطيسيين للسلكين متعامدين.

$$\therefore B_t = \sqrt{B_1^2 + B_2^2}$$

$$= \sqrt{(4 \times 10^{-5})^2 + (2.25 \times 10^{-5})^2}$$

$$= \mathbf{4.6 \times 10^{-5}\ T}$$

مجاب

14 اختبـر نفسك

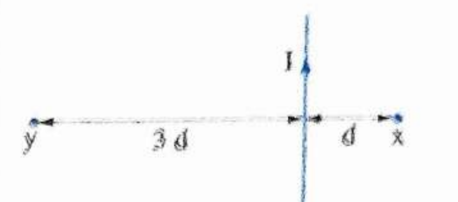
اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

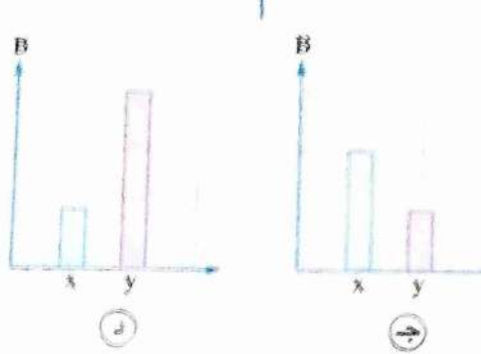
في الشكل المقابل سلكان طويلان جدًا ومتوازيان فإذا كانت محصلة كثافة الفيض المغناطيسى الناشئ عن تيارى السلكين عند النقطة (x) مساوية للصفر، فإن النسبة بين شدتى التيار فى السلكين $\left(\frac{I_1}{I_2}\right)$ تساوى ....

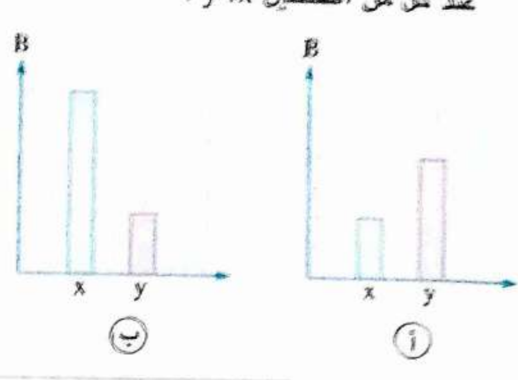
I_1 I_2 d x 2d

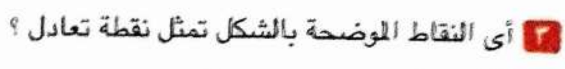
(أ) $\frac{1}{1}$ (ب) $\frac{1}{2}$ (جـ) $\frac{2}{1}$ (د) $\frac{1}{3}$

٢ الشكل المقابل يوضح سلك مستقيم يمر به تيار كهربى مستمر، فأى من الأشكال البيانية التالية يمثل نسبة كثافتى الفيض المغناطيسى الناشئ عن ذلك التيار عند كل من النقطتين x، y ؟

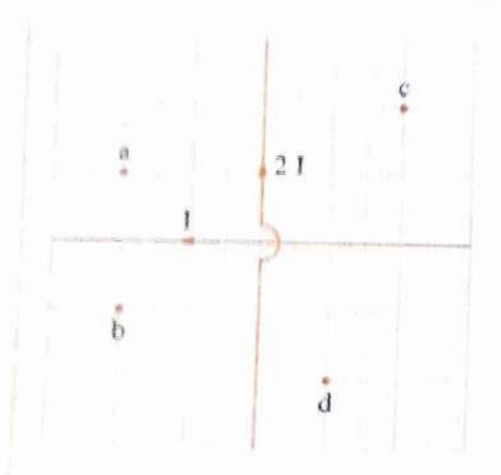








٣ أى النقاط الموضحة بالشكل تمثل نقطة تعادل ؟



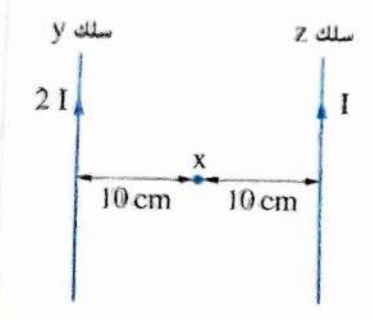
(أ) النقطة a

(ب) النقطة b

(ج) النقطة c

(د) النقطة d

٤ سلكان مستقيمان (z ، y) متوازيان وضُعا فى الهواء على بُعد 20 cm من بعضهما يمر فيهما تيار كهربى (I ، 2 I) على الترتيب، أى الإجراءات التالية تجعل كثافة الفيض المغناطيسى عند النقطة x تساوى الصفر ؟



(أ) تحريك السلك z مسافة 5 cm بعيدًا عن السلك y

(ب) تحريك السلك z مسافة 5 cm فى اتجاه السلك y

(ج) تحريك السلك y مسافة 5 cm فى اتجاه السلك z

(د) تحريك السلك y مسافة 5 cm بعيدًا عن السلك z



تابع التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى

الدرس الثانى

فى هذا الدرس سوف نتعرف :

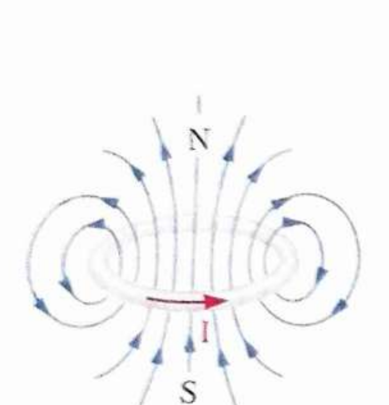
- **المجال المغناطيسى** الناشئ عن مرور تيار كهربى فى ملف دائرى.
- **المجال المغناطيسى** الناشئ عن مرور تيار كهربى فى ملف لولبى.

ثانيًا المجال المغناطيسى الناشئ عن مرور تيار كهربى فى ملف دائرى

* عند مرور تيار كهربى فى ملف دائرى فإنه يسبب تولد مجال مغناطيسى داخل الملف وخارجه.

شكل وخواص خطوط الفيض المغناطيسى

للتعرف على شكل خطوط الفيض نجرى الخطوات الآتية



1. انثر برادة حديد على لوح من الورق المقوى يخترقه ملف دائرى مستواه عمودى على اللوح ويمر به تيار كهربى.
2. اطرق لوح الورق المقوى طرقات خفيفة.

الملاحظة

تترتب برادة الحديد على شكل دوائر تفقد دائريتها كلما اقتربت من محور الملف.

الاستنتاج

1. ترتيب برادة الحديد يعبر عن شكل خطوط الفيض المغناطيسى الناشئ عن مرور تيار كهربى فى الملف الدائرى.
2. تفقد خطوط الفيض دائريتها (يقل انحناء خطوط الفيض) كلما اقتربت من مركز الملف.
3. خطوط الفيض المغناطيسى عند مركز الملف الدائرى خطوط مستقيمة متوازية وموازية لمحور الملف ومتعامدة على مستوى الملف.
4. المجال المغناطيسى الناشئ عن ملف دائرى يمر به تيار كهربى يشبه إلى حد كبير المجال المغناطيسى لقرص مغناطيسى مصمت له قطبان مستديران (مغناطيس قصير).
5. تختلف كثافة الفيض المغناطيسى من نقطة لأخرى.



ملاحظة

* لا يوجد فى الطبيعة أقطاب مغناطيسية منفردة فدائمًا يوجد لأى مغناطيس قطبان أحدهما شمالى والآخر جنوبى وبالتالى الملف الدائرى الذى يمر به تيار كهربى يكافئ ثنائى قطب مغناطيسى.

حساب كثافة الفيض المغناطيسى

* إذا مر تيار كهربى شدته I فى ملف دائرى نصف قطـره r وعدد لفاتـه N، فإن كثافـة الفيض المغناطيسى فى مركز الملف الدائرى :

– تتناسب طرديًا مع شدة التيار المار فى الملف : $B \propto I$

– تتناسب طرديًا مع عدد لفات الملف : $B \propto N$

– تتناسب عكسيًا مع نصف قطر الملف : $B \propto \frac{1}{r}$

$$B \propto \frac{NI}{r}$$

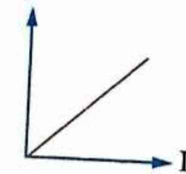
$$\therefore B = \text{constant} \times \frac{NI}{r}$$

$$B = \mu \frac{NI}{2r}$$

العوامل التى تتوقف عليها كثافة الفيض المغناطيسى

١ شدة التيار :

تتناسب كثافة الفيض المغناطيسى تناسبًا **طرديًا** مع شدة التيار المار فى الملف.

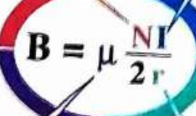


$$\text{slope} = \frac{\Delta B}{\Delta I} = \frac{\mu N}{2r}$$

٢ عدد لفات الملف :

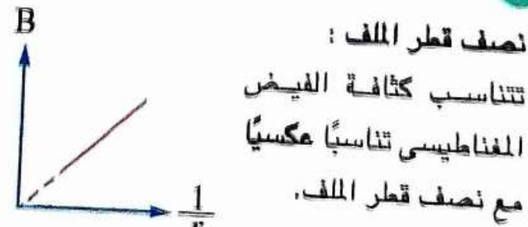
تتناسب كثافة الفيض المغناطيسى تناسبًا **طرديًا** مع عدد لفات الملف.

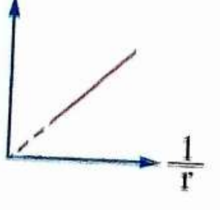
$$\text{slope} = \frac{\Delta B}{\Delta N} = \frac{\mu I}{2r}$$



٣ نصف قطر الملف :

تتناسب كثافة الفيض المغناطيسى تناسبًا **عكسيًا** مع نصف قطر الملف.





$$\text{slope} = \frac{\Delta B}{\Delta (\frac{1}{r})} = \frac{\mu NI}{2}$$

٤ معامل النفاذية المغناطيسية للوسط :

تتناسب كثافة الفيض المغناطيسى تناسبًا **طرديًا** مع معامل النفاذية المغناطيسية للوسط (ثابت للوسط الواحد).

$$\text{slope} = \frac{\Delta B}{\Delta \mu} = \frac{NI}{2r}$$

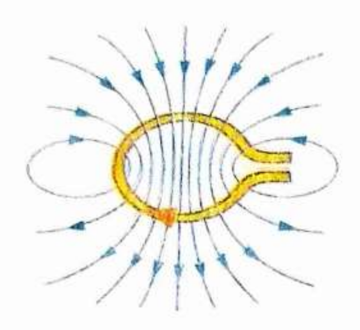
تحديد اتجاه خطوط الفيض المغناطيسى

١ قاعدة البريمة اليمنى



الاستخدام

تحديد اتجاه المجال (خطوط الفيض) المغناطيسى عند مركز ملف دائرى يمر به تيار كهربى.



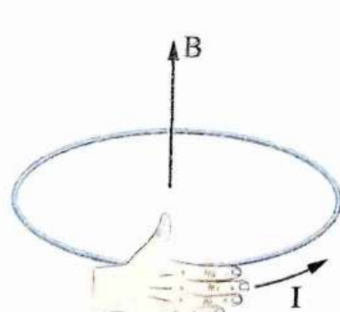
نص القاعدة (طريقة الاستخدام)

عند دوران بريمة باليد اليمنى عند مركز الملف بحيث يشير اتجاه دورانها لاتجاه التيار فى الملف فإن اتجاه اندفاعها يشير لاتجاه الفيض المغناطيسى عند مركز الملف.

٢ قاعدة اليد اليمنى لأمبير

الاستخدام

تحديد اتجاه المجال (خطوط الفيض) المغناطيسى عند مركز ملف دائرى والناشئ عن مرور تيار كهربى فى الملف.



نص القاعدة (طريقة الاستخدام)

إذا كان اتجاه أصابع اليد اليمنى (ماعدا الإبهام) يشير إلى اتجاه التيار فإن الإبهام يشير إلى اتجاه الفيض المغناطيسى.

٣ قاعدة اتجاه حركة عقارب الساعة

الاستخدام

تحديد نوع القطب فى كل من وجهى ملف دائرى يمر به تيار كهربى.

نص القاعدة (طريقة الاستخدام)

إذا كان اتجاه التيار فى أحد وجهى الملف :

فى نفس اتجاه حركة عقارب الساعة	عكس اتجاه حركة عقارب الساعة
يكون هذا الوجه قطبًا جنوبيًا (S)	يكون هذا الوجه قطبًا شماليًا (N)

ويكون اتجاه خطوط الفيض المغناطيسى خارج الملف بحيث تخرج من القطب الشمالى وتدخل إلى القطب الجنوبى

مثال

احسب كثافة الفيض المغناطيسى عند مركز ملف دائرى نصف قطره 11 cm وعدد لفاته 20 لفة، ويمر به تيار كهربى شدته 1.4 A (علمًا بأن : $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m)

الحل

$r = 0.11$ m	$N = 20$	$I = 1.4$ A	$\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m	**B = ?**

$$B = \frac{\mu N I}{2r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 20 \times 1.4}{2 \times 0.11} = \mathbf{1.6 \times 10^{-4}\ T}$$

إرشاد

* حساب عدد لفات الملف (N) :

– إذا تم لف سلك طوله ℓ على شكل ملف دائرى نصف قطره r، فإن :

$$N = \frac{\text{طول السلك}}{\text{محيط اللفة الواحدة}} = \frac{\ell}{2\pi r}$$

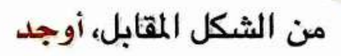
حيث : (N) قد يكون عدد صحيح أو غير صحيح.

– إذا كان الملف جزء من دائرة، فإن :

$$N = \frac{\theta}{360}$$

حيث : (θ) الزاوية المركزية المواجهة لسلك الملف.

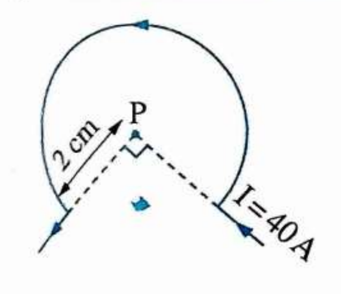
مثال



من الشكل المقابل، أوجد

كثافة القيض المغناطيسى عند النقطة P

(علمًا بأن : $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m)



الحل

$I = 40$ A	$r = 2 \times 10^{-2}$ m	$\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m	**B = ?**

$$\theta = 360 - 90 = 270°$$

$$N = \frac{\theta}{360} = \frac{270}{360} = 0.75 \text{ لفة}$$

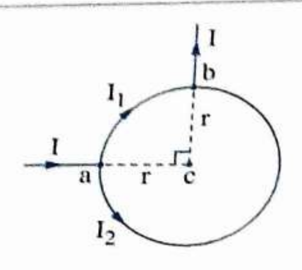
$$B = \mu \frac{NI}{2r} = 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{0.75 \times 40}{2 \times 2 \times 10^{-2}} = \mathbf{9.43 \times 10^{-4}\ T}$$

إرشاد

* عند تشكيل سلك على صورة حلقة مكتملة ومرور تيار كهربى فيها من خلال أى نقطتين على محيطها فإن المجال الناشئ عن مرور التيار فى أحد جزئى الحلقة يلاشى المجال الناشئ عن مرور التيار المار فى الجزء الثانى فتكون دائمًا محصلة كثافة الفيض المغناطيسى عند مركز الحلقة تساوى صفر.

مثال

الشكل المقابل يمثل حلقة معدنية مغلقة منتظمة المقطع يمر إليها تيار كهربى عبر النقطتين (a ، b) على محيطها، احسب كثافة الفيض المغناطيسى (B) عند مركز الحلقة.



الحل

$N_1 = \frac{1}{4}$ $N_2 = \frac{3}{4}$ $B_t = ?$

$$\because \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{3R}{R} = \frac{3}{1}$$

$$\because B = \frac{\mu NI}{2r}$$

$$\therefore \frac{B_1}{B_2} = \frac{\mu N_1 I_1}{2r} \times \frac{2r}{\mu N_2 I_2}$$

$$= \frac{N_1 I_1}{N_2 I_2} = \frac{\frac{1}{4}}{\frac{3}{4}} \times \frac{3}{1} = 1$$

$$\therefore B_1 = B_2$$

$$\therefore B_t = B_1 - B_2 = 0$$

إرشاد

* فى حالة إعادة تشكيل ملف دائرى عدد لفاته N_1 ليصبح عددها N_2 ثم توصيله بنفس فرق الجهد الكهربى :

∵ طول السلك ثابت.

$$\therefore 2\pi r_1 N_1 = 2\pi r_2 N_2$$

$$\therefore \frac{N_1}{N_2} = \frac{r_2}{r_1} \qquad \therefore \frac{B_1}{B_2} = \frac{N_1 r_2}{N_2 r_1} = \frac{N_1^2}{N_2^2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$

مثال

تيار كهربى شدته I يمر فى ملف دائرى مكون من ثلاث لفات فكانت كثافة الفيض المغناطيسى عند مركز الملف 1.2×10^{-4} T. احسب كثافة الفيض المغناطيسى عند مركز الملف إذا أعيد لف الملف ليصبح مكون من ست لفات ومر به نفس شدة التيار.

الحل

$N_1 = 3 \quad B_1 = 1.2 \times 10^{-4}\ T \quad N_2 = 6 \quad B_2 = ?$

∵ طول سلك الملف ثابت.

$$\therefore 2\pi r_1 N_1 = 2\pi r_2 N_2 \qquad \therefore \frac{N_1}{N_2} = \frac{r_2}{r_1}$$

$$\therefore \frac{B_1}{B_2} = \frac{N_1 r_2}{N_2 r_1} = \frac{N_1^2}{N_2^2}$$

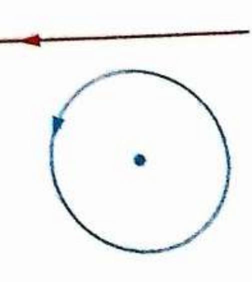
$$\frac{1.2 \times 10^{-4}}{B_2} = \frac{(3)^2}{(6)^2}$$

$$B_2 = 4.8 \times 10^{-4}\ T$$

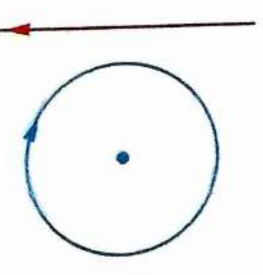
إرشاد

* لتعيين محصلة كثافة الفيض المغناطيسى عند مركز ملف دائرى عند وضع سلك مستقيم على بُعد معين من مركز الملف الدائرى وفى نفس مستواه ويمر بكل منهما تيار كهربى مستمر إذا كان مجال كل من السلك والملف

فى نفس الاتجاه



فى اتجاهين متضادين



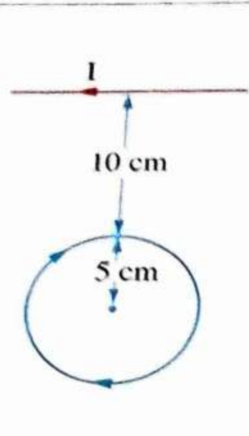
فإن

$$B_t = B_{(ملف)} + B_{(سلك)}$$

$$B_t = B_{(ملف)} - B_{(سلك)} \qquad (B_{(ملف)} > B_{(سلك)})$$

$$B_t = B_{(سلك)} - B_{(ملف)} \qquad (B_{(سلك)} > B_{(ملف)})$$

مثال



ملف دائرى عدد لفاته 3 لفات ونصف قطره 5 cm يمر به تيار 1 A يوجد على بُعد 10 cm منه وفى نفس مستواه سلك مستقيم طويل يمر به تيار كهربى كما بالشكل، **احسب :**

(أ) شدة التيار المار فى السلك التى تجعل كثافة الفيض عند مركز الملف الدائرى تنعدم.

(ب) قيمة كثافة الفيض عند مركز الملف إذا عُكس اتجاه التيار المار فى السلك.

(علمًا بأن : $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m)

الحل

$d = 15$ cm	$I_{(ملف)} = 1$ A	$r = 5$ cm	$N = 3$
$B_t = ?$	$I_{(سلك)} = ?$	$\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m	

(أ)

$$\because B_t = 0$$

$$\therefore B_{(ملف)} = B_{(سلك)}$$

$$\mu \frac{NI_{(ملف)}}{2r} = \mu \frac{I_{(سلك)}}{2\pi d}$$

$$\frac{3 \times 1}{5} = \frac{I_{(سلك)}}{\pi \times 15}$$

$$\therefore I_{(سلك)} = 28.29 \text{ A}$$

(ب)

$$B_t = B_{(ملف)} + B_{(سلك)}$$

$$= \mu \frac{NI_{(ملف)}}{2r} + \mu \frac{I_{(سلك)}}{2\pi d} = 2\pi \times 10^{-7} \left(\frac{3 \times 1}{5 \times 10^{-2}} + \frac{28.29}{\pi \times 15 \times 10^{-2}}\right)$$

$$= 7.54 \times 10^{-5} \text{ T}$$

إرشاد

* فى حالة سلك مستقيم يمس ملف دائرى وفى نفس مستواه بحيث تنعدم كثافة الفيض عند مركز الملف

$$B_{(\text{ملف})} = B_{(\text{سلك})}$$

$$\frac{\mu N I_{(\text{ملف})}}{2r} = \frac{\mu I_{(\text{سلك})}}{2\pi d} \quad , \quad r = d$$

$$N I_{(\text{ملف})} = \frac{I_{(\text{سلك})}}{\pi}$$

مثال ١

وُضع سلك مستقيم رأسيًا بحيث يكون مماسًا لملف دائرى مكون من لفة واحدة وفى نفس مستواه، ثم وُضع عند مركز الملف إبرة مغناطيسية حرة الحركة فى مستوى أفقى،

احسب شدة التيار الكهربى الذى إذا مر فى السلك لا يسبب أى انحراف للإبرة عندما يمر فى الملف الدائرى تيار شدته 0.21 A

الحل

$I_{(\text{ملف})} = 0.21\ A$ | $N = 1$ | $I_{(\text{سلك})} = ?$

* لا تنحرف الإبرة المغناطيسية عندما تكون محصلة المجال المغناطيسى الناشئ عن الملف والسلك مساوية للصفر :

$$B_{(\text{سلك})} = B_{(\text{ملف})}$$

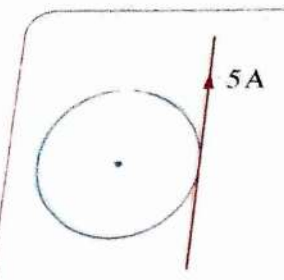
$$\mu \frac{I_{(\text{سلك})}}{2\pi d} = \mu \frac{N I_{(\text{ملف})}}{2r}$$

$$\frac{I_{(\text{سلك})}}{\pi} = N I_{(\text{ملف})}$$

$$\frac{I_{(\text{سلك})} \times 7}{22} = 1 \times 0.21$$

$$I_{(\text{سلك})} = 0.66\ A$$

مثال (٢)



فى الشكل المقابل سلك مستقيم يمر به تيار شدته 5 A وُضع مماسًا لملف دائرى مكون من لفة واحدة نصف قطره 5 cm ويمر به تيار شدته 3 A وفى مستواه، **احسب كثافة الفيض المغناطيسى عند مركز الملف الدائرى إذا كان اتجاه التيار المار فيه :**

(أ) عكس اتجاه عقارب الساعة.

(ب) فى اتجاه عقارب الساعة.

(علمًا بأن : $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m)

الحل

$N = 1 \quad I_{(ملف)} = 3\ A \quad I_{(سلك)} = 5\ A \quad r = d = 5 \times 10^{-2}\ m$

$\mu = 4\pi \times 10^{-7}\ Wb/A.m \qquad B_t = ?$

$$B_{(ملف)} = \mu \frac{NI_{(ملف)}}{2r} = 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{1 \times 3}{2 \times 5 \times 10^{-2}} = 3.77 \times 10^{-5}\ T$$

$$B_{(سلك)} = \mu \frac{I_{(سلك)}}{2\pi d} = 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{5}{2\pi \times 5 \times 10^{-2}} = 2 \times 10^{-5}\ T$$

(أ)

$$B_t = B_{(ملف)} + B_{(سلك)} = (3.77 \times 10^{-5}) + (2 \times 10^{-5})$$

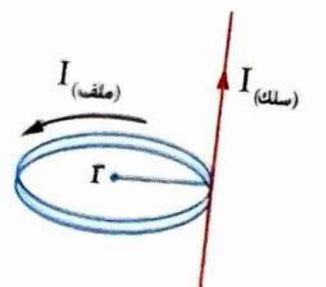
$$= 5.77 \times 10^{-5}\ T$$

(ب)

$$B_t = B_{(ملف)} - B_{(سلك)} = (3.77 \times 10^{-5}) - (2 \times 10^{-5})$$

$$= 1.77 \times 10^{-5}\ T$$

إرشاد



* فى حالة سلك مستقيم يمس ملف دائرى بحيث يكون السلك موازى لمحور الملف الدائرى (أو السلك عمودى على مستوى الملف الدائرى) ويمر بكل منهما تيار كهربى يكون المجال المغناطيسى لكل من السلك والملف متعامدين عند مركز الملف وتكون كثافة الفيض المحصلة عند مركز الملف الدائرى :

$$B_t = \sqrt{B^2_{(سلك)} + B^2_{(ملف)}}$$

مثـال

وُضع سلك مستقيم رأسيًا بحيث يكون مماسًا لملف دائرى وموازيًا لمحور الملف وكان الملف يتكون من لفة واحدة ونصف قطره 20 cm، فإذا مر تيار كهربى فى كل من السلك والملف شدته على الترتيب 20 A ، 5 A.
احسب كثافة الفيض المغناطيسى عند مركز الملف.
(علمًا بأن : $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m)

الحـــل

$N = 1$ | $I_{(سلك)} = 20$ A | $I_{(ملف)} = 5$ A | $r = d = 20 \times 10^{-2}$ m

$\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m | $B_t = ?$

$$B_{(سلك)} = \frac{\mu I_{(سلك)}}{2\pi d} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 20}{2\pi \times 20 \times 10^{-2}} = 2 \times 10^{-5}\ T$$

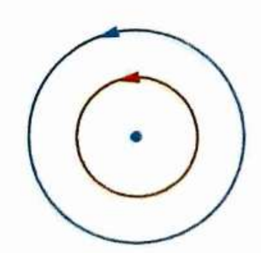
$$B_{(ملف)} = \frac{\mu N I_{(ملف)}}{2r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 1 \times 5}{2 \times 20 \times 10^{-2}} = 1.57 \times 10^{-5}\ T$$

$$B_t = \sqrt{B^2_{(سلك)} + B^2_{(ملف)}} = \sqrt{(2 \times 10^{-5})^2 + (1.57 \times 10^{-5})^2} = \mathbf{2.54 \times 10^{-5}\ T}$$

إرشاد

* فى حالة ملفين دائريين لهما مركز مشترك وفى نفس المستوى ويحملان تيارين :

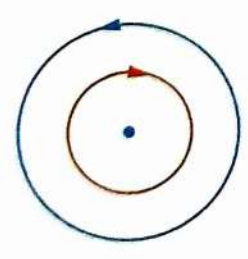
فى نفس الاتجاه



$B_t = B_1 + B_2$

فإن

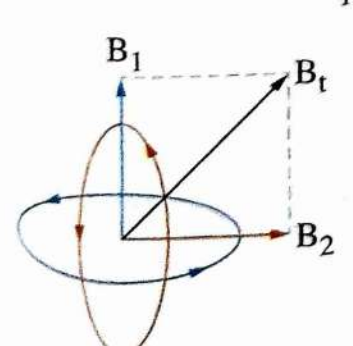
فى اتجاهين متضادين



$B_t = B_1 - B_2$
(بفرض أن $B_1 > B_2$)

* فى حالة ملفين دائريين لهما مركز مشترك ومتعامدين :

$$B_t = \sqrt{B_1^2 + B_2^2}$$



مثال

ملفان دائريان متحدا المركز ولهما نفس المستوى، الملف الأول نصف قطره 40 cm وعدد لفاته 300 لفة ويمر به تيار شدته 10 A والملف الثانى نصف قطره 30 cm وعدد لفاته 400 لفة ويمر به تيار شدته 6 A فى نفس اتجاه الأول، **أوجد كثافة الفيض المغناطيسى الكلى عند :**

(أ) المركز المشترك للملفين.

(ب) المركز المشترك عندما يدور أحد الملفين بحيث يصبح مستويا الملفين متعامدين.

(علمًا بأن : $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m)

الحل

$r_1 = 0.4$ m	$N_1 = 300$	$I_1 = 10$ A	$r_2 = 0.3$ m	$N_2 = 400$
$I_2 = 6$ A	$\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m	$B_t = ?$		

(أ)

$$B_1 = \mu \frac{N_1 I_1}{2 r_1} = 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{300 \times 10}{2 \times 0.4} = 4.71 \times 10^{-3}\ T$$

$$B_2 = \mu \frac{N_2 I_2}{2 r_2} = 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{400 \times 6}{2 \times 0.3} = 5.03 \times 10^{-3}\ T$$

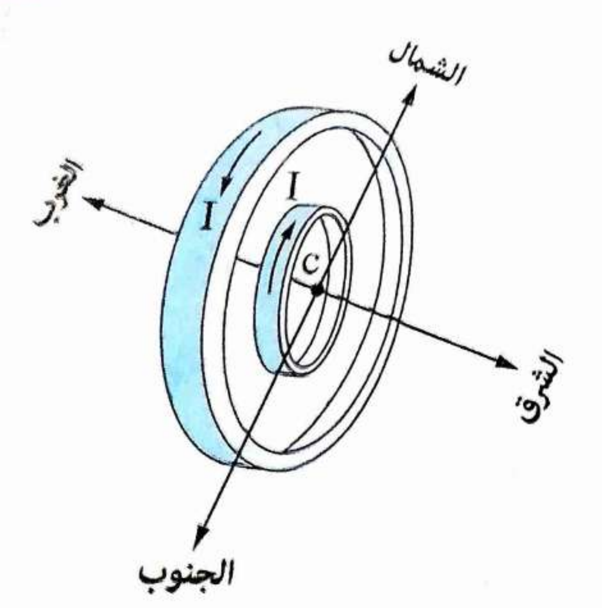
$$B_t = B_1 + B_2 = (4.71 + 5.03) \times 10^{-3} = \mathbf{9.74 \times 10^{-3}\ T}$$

(ب)

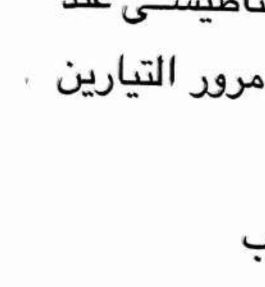
$$B_t = \sqrt{B_1^2 + B_2^2} = \sqrt{(4.71 \times 10^{-3})^2 + (5.03 \times 10^{-3})^2} = \mathbf{6.89 \times 10^{-3}\ T}$$

15 اختبر نفسك

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :



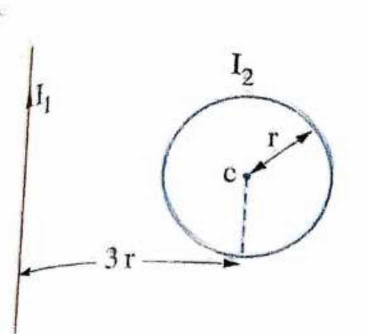
1 حلقتان معدنيتان مختلفتا القطر ومتحدتا المركز موضوعتان فى مستوى واحد كما بالشكل، عند مرور تيار كهربى له نفس الشدة (I) فى كل منهما فإن اتجاه محصلة كثافة الفيض المغناطيسى عند مركزهما المشترك (c) والناشئ عن مرور التيارين يكون فى اتجاه ....



(أ) الشمال (ب) الجنوب

(ج) الشرق (د) الغرب

٢ الشكل المقابل يوضح حلقة معدنية وسلك مستقيم طويل فى نفس المستوى، فإذا كانت محصلة كثافة الفيض عند مركز الحلقة c مساوية للصفر، فأى الاختيارات التالية صحيح ؟

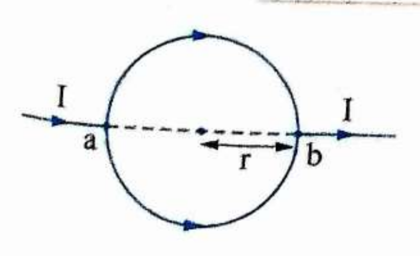


	النسبة $\frac{I_1}{I_2}$	اتجاه تيار الحلقة
أ	$\frac{\pi}{3}$	عكس دوران عقارب الساعة
ب	3π	عكس دوران عقارب الساعة
جـ	$\frac{\pi}{3}$	مع دوران عقارب الساعة
د	3π	مع دوران عقارب الساعة

٣ الشكل المقابل يوضح جزء من حلقة معدنية مركزها X موضوع فى نفس مستواها سلك مستقيم طويل يبعد عن مركز الحلقة مسافة 20 cm فإذا مر تيار شدته I فى السلك كانت شدة المجال المغناطيسى عند مركز الحلقة منعدمة، فإن ....

	شدة التيار (I) المار فى السلك المستقيم	اتجاه التيار (I) المار فى السلك المستقيم
أ	12 A	من a إلى b
ب	24 A	من a إلى b
جـ	12 A	من b إلى a
د	24 A	من b إلى a

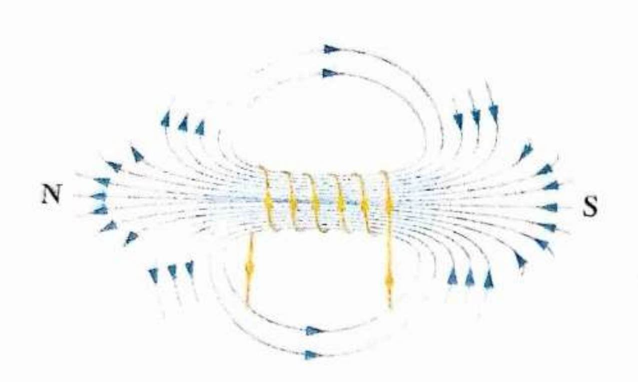
٤ الشكل المقابل يمثل حلقة يمر فيها تيار كهربى يدخل من النقطة a ويخرج من النقطة b، فإن محصلة كثافة الفيض المغناطيسى عند مركز الحلقة تساوى ....



أ $\frac{\mu I}{2r}$ ب $\frac{\mu I}{4r}$ جـ $\frac{3\mu I}{4r}$ د 0

ثالثًا المجال المغناطيسى الناشئ عن مرور تيار كهربى فى ملف لولبى (حلزونى)

شكل خطوط الفيض المغناطيسى



* عندما يمر تيار كهربى فى ملف لولبى يتولد مجال مغناطيسى يشبه إلى حد كبير المجال المغناطيسى لقضيب مغناطيسى.

* تمثل خطوط الفيض مسارات متصلة داخل وخارج الملف،

أى أن كل خط بمثابة مسار مغلق.

حساب كثافة الفيض المغناطيسى

* عند مرور تيار كهربى شدته I فى ملف لولبى طوله ℓ وعدد لفاته N، فإن كثافة الفيض المغناطيسى (B) عند نقطة فى منتصف الملف تقع على محوره :

- تتناسب طرديًا مع شدة التيار الكهربى المار فى الملف اللولبى : $B \propto I$
- تتناسب طرديًا مع عدد لفات الملف اللولبى : $B \propto N$
- تتناسب عكسيًا مع طول الملف اللولبى : $B \propto \frac{I}{\ell}$

$$\therefore B \propto \frac{NI}{\ell}$$

$$\therefore B = \text{constant} \times \frac{NI}{\ell}$$

$$\therefore \quad \mathbf{B = \mu \frac{NI}{\ell} = \mu nI}$$

حيث : (n) عدد اللفات لوحدة الأطوال من الملف وتتعين من العلاقة : $\mathbf{n = \frac{N}{\ell}}$

العوامل التى تتوقف عليها كثافة الفيض المغناطيسى

١ شدة التيار :

تتناسب كثافة الفيض المغناطيسى تناسبـًا **طرديـًا** مع شـدة التيـار المار فى الملف.

B — I

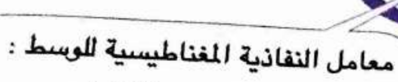
$$slope = \frac{\Delta B}{\Delta I} = \frac{\mu N}{\ell}$$

عدد لفات الملف :

تتناسب كثافة الفيض المغناطيسى تناسبًا **طرديًا** مع عدد لفات الملف.

B — N

$$slope = \frac{\Delta B}{\Delta N} = \frac{\mu I}{\ell}$$



$$B = \mu \frac{NI}{\ell}$$

٣ طول الملف :

تتناسب كثافة الفيض المغناطيسى تناسبًا **عكسيًا** مع طول الملف.

B — $\frac{1}{\ell}$

$$slope = \frac{\Delta B}{\Delta(\frac{1}{\ell})} = \mu NI$$

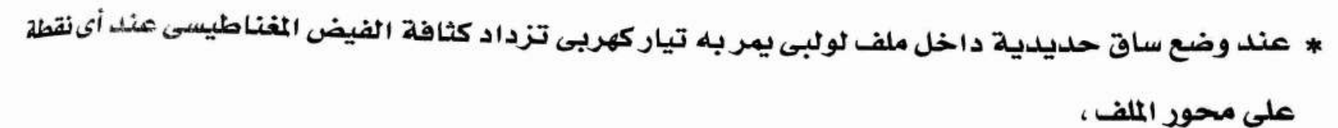
معامل النفاذية المغناطيسية للوسط :

تتناسب كثافة الفيض المغناطيسى تناسبًا **طرديًا** مع معامل النفاذية المغناطيسية للوسط (ثابت للوسط الواحد).

B — μ

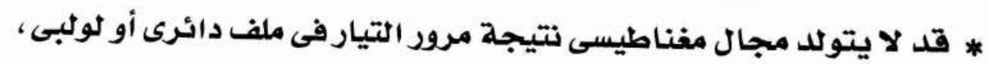
$$slope = \frac{\Delta B}{\Delta \mu} = \frac{NI}{\ell}$$

ملاحظات



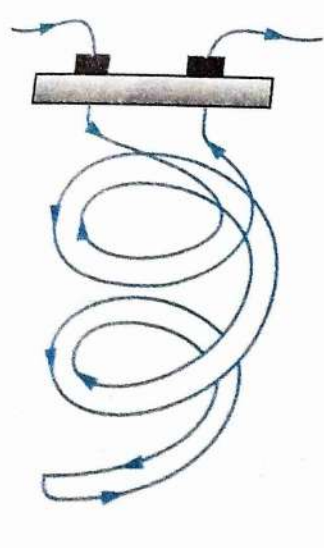
* **عند وضع ساق حديدية داخل ملف لولبى يمر به تيار كهربى تزداد كثافة الفيض المغناطيسى عند أى نقطة على محور الملف ،**

لأن معامل النفاذية المغناطيسية للحديد أكبر من معامل النفاذية المغناطيسية للهواء.



* **قد لا يتولد مجال مغناطيسى نتيجة مرور التيار فى ملف دائرى أو لولبى ،**

لأن الملـف الدائـرى أو اللولبى قد يكـون ملفـوف لفًا مـزدوجًا فيصبـح الفيض المغناطيســى الناتج عن مـرور التيار فى اتجاه معين عكس الفيض المغناطيســى الناتج عن مرور نفس التيار فى الاتجاه المضاد فيلاشى تأثير كل منهما الآخر.



تحديد اتجاه خطوط الفيض المغناطيسى

١ قاعدة أمبير لليد اليمنى



الاستخدام

تحديد اتجاه المجال المغناطيسى الناشئ داخل ملف لولبى يمر به تيار كهربى.

نص القاعدة (طريقة الاستخدام)

تخيل أنك تقبض على الملف باليد اليمنى بحيث يشير اتجاه التفاف أصابع اليد إلى اتجاه التيار فيشير الإبهام لاتجاه خطوط الفيض داخل الملف.

٢ قاعدة البريمة اليمنى

الاستخدام

تحديد اتجاه الفيض المغناطيسى عند محور ملف لولبى (حلزونى) يمر به تيار كهربى.

طريقة الاستخدام

كما سبق فى الملف الدائرى باعتبار أن الملف اللولبى يتكون من مجموعة لفات دائرية متحدة المحور.

٣ قاعدة اتجاه حركة عقارب الساعة

الاستخدام

تحديد نوع القطب فى كل من وجهى ملف لولبى يمر به تيار كهربى.

طريقة الاستخدام

كما سبق فى الملف الدائرى.

مثال (١)

ملف لولبى طوله 20 cm يتكون من 800 لفة ويمر به تيار شدته 0.7 A، **احسب** كثافة الفيض المغناطيسى عند نقطة عند منتصف طوله تقع على محوره.

(علمًا بأنّ : $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m)

الحـل

$l = 0.2$ m | $N = 800$ | $I = 0.7$ A | $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m | **B = ?**

$$B = \mu \frac{NI}{l} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 800 \times 0.7}{0.2} = \mathbf{3.52 \times 10^{-3}\ T}$$

مثال

سلك معز...

بحيث ت...

منتصف...

الحـ...

مثال (٢)

احسب شدة التيار الكهربى اللازم لجعل كثافة الفيض المغناطيسى عند نقطة عند منتصف طول ملف لولبى تقع على محوره تساوى 0.815 T إذا كان الملف يتكون من 800 لفة وطوله 20 cm فى حالة وجود قلب من الحديد داخله. (علمًا بأنّ : النفاذية المغناطيسية للحديد 2×10^{-3} Wb/A.m)

الحـل

$N = 800$ | $l = 0.2$ m | $B = 0.815$ T | $\mu = 2 \times 10^{-3}$ Wb/A.m | **I = ?**

$$B = \mu \frac{NI}{l}$$

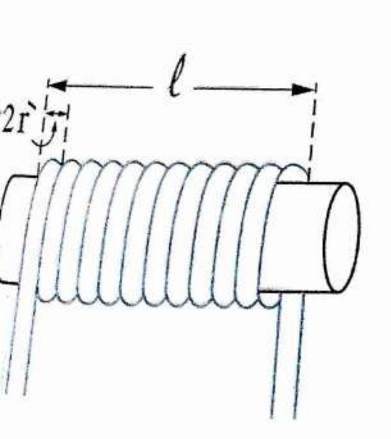
$$I = \frac{Bl}{\mu N} = \frac{0.815 \times 0.2}{2 \times 10^{-3} \times 800} = \mathbf{0.1019\ A = 101.9\ mA}$$

إرشاد

* إذا كانت لفات الملف متماسة معًا، فإن طول الملف :

$$l = N \times 2r`$$

حيث : ($r`$) نصف قطر سلك الملف.



مثـال

سلك معزول نصف قطره 0.3 cm لف حول قلب من الحديد المطاوع نفاذيته المغناطيسية 2×10^{-3} Wb/A.m بحيث تكون اللفات متماسة معًا على طول القلب الحديدى، احسب كثافة الفيض المغناطيسى عند نقطة عند منتصف طول الملف تقع على محوره علمًا بأن شدة التيار المار فى الملف 10 A

الحـل

$r = 0.3 \times 10^{-2}$ m | $\mu = 2 \times 10^{-3}$ Wb/A.m | I = 10 A | **B = ?**

∵ اللفات متماسة.

$$\therefore \ell = 2Nr$$

$$B = \frac{\mu NI}{\ell} = \frac{\mu NI}{2Nr} = \frac{\mu I}{2r} = \frac{2 \times 10^{-3} \times 10}{2 \times 0.3 \times 10^{-2}} = 3.33 \text{ T}$$

إرشاد

* إذا تم قطع جزء من ملف كان متصل بمصدر جهد مهمل المقاومة الداخلية ثم أعيد توصيل الجزء المتبقى من اللفات بنفس المصدر مع الاحتفاظ بالمسافة بين اللفات ثابتة، فإن :

عدد اللفات لوحدة الأطوال (n)

يظل ثابت لأن كل من عدد لفات الملف وطول الملف يقل بنفس النسبة.

$$\because \frac{N_1}{\ell_1} = \frac{N_2}{\ell_2}$$

$$\therefore n_1 = n_2$$

شدة التيار المار فى الملف (I)

تزداد لأن طول سلك الملف يقل وتبعًا للعلاقة $\left(R = \frac{\rho_e \ell}{A}\right)$ فإن مقاومة الملف تقل، وحيث إن فرق الجهد بين طرفى المصدر ثابت وتبعًا للعلاقة $\left(I = \frac{V}{R}\right)$، فإن شدة التيار تزداد،

أى أن

$$I \propto \frac{1}{R} \propto \frac{1}{\ell}$$

$$\because B = \mu n I$$

∵ كل من μ ، n ثابت

∴ تزداد B بحيث تكون

$$B \propto I \propto \frac{1}{\ell}$$

مثـال

بطاريـة مهملـة المقاومـة الداخلية تتصل بطرفى ملف لولبى طوله 44 cm وعـدد لفاته 21 لفة فيمر بالملف تيار كهربى شدته 1 A . فإذا قُطع ثلث الملف ووُصل الباقى بنفس البطارية، احسب كثافة الفيض المغناطيسى عند نقطة عند منتصف طول الملف تقع على محوره فى هذه الحالة.

(علمًا بأن : $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m)

الحـــل

$l_1 = 44$ cm $\quad N_1 = 21 \quad I_1 = 1$ A $\quad l_2 = \frac{2}{3} l_1$

$\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m $\quad B_2 = ?$

$$B_1 = \frac{\mu N I}{l} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 21 \times 1}{44 \times 10^{-2}} = 6 \times 10^{-5}\ \text{T}$$

$$\because R = \frac{\rho_e l}{A}$$

$$\therefore \frac{R_1}{R_2} = \frac{l_1}{l_2} = \frac{l_1}{\frac{2}{3} l_1} = \frac{3}{2}$$

$$\because I = \frac{V}{R} \quad , \quad V_1 = V_2 \qquad \therefore \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{2}{3}$$

∵ كل من عدد لفات الملف وطول الملف قل بنفس النسبة.

$$\therefore n_1 = n_2$$

$$\because B = \mu n I$$

$$\therefore \frac{B_1}{B_2} = \frac{I_1}{I_2}$$

$$\therefore \frac{6 \times 10^{-5}}{B_2} = \frac{2}{3} \qquad \therefore B_2 = 9 \times 10^{-5}\ \text{T}$$

إرشاد

• محصلة كثافة الفيض عند نقطة فى منتصف الملف تقع على محوره فى حالة ملفين لهما محور مشترك ويحملان تيارين

فى نفس الاتجاه	فى اتجاهين متضادين
$B_t = B_1 + B_2$	$B_t = B_1 - B_2 \quad (B_1 > B_2)$

مثال (١)

ملفان لولبيان أحدهما داخل الآخر لهما محور مشترك، تحتوى وحدة الأطوال من الملف الداخلى على 10 لفات ومن الملف الخارجى على 20 لفة فإذا كان تيار الملف الداخلى 2 A والخارجى 4 A، **احسب كثافة الفيض المغناطيسى عند نقطة بداخلهما على المحور المشترك عندما يكون التياران :**

(أ) فى نفس الاتجاه.

(ب) فى اتجاهين متضادين.

(علمًا بأن : $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m)

الحل

$n_1 = 10$ turn/m	$n_2 = 20$ turn/m	$I_1 = 2$ A	$I_2 = 4$ A
$\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m	$B_t = ?$		

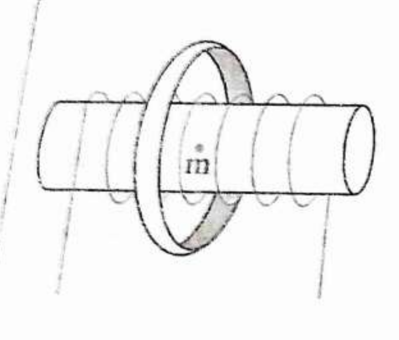
$$B_1 = \mu n_1 I_1 = 4\pi \times 10^{-7} \times 10 \times 2 = 25.14 \times 10^{-6}\ T$$

$$B_2 = \mu n_2 I_2 = 4\pi \times 10^{-7} \times 20 \times 4 = 100.57 \times 10^{-6}\ T$$

(أ) $B_t = B_1 + B_2 = 125.71 \times 10^{-6}\ T$

(ب) $B_t = B_2 - B_1 = 75.43 \times 10^{-6}\ T$

مثال (٢)



ملف لولبى طوله 50 cm وعدد لفاته 100 لفة يمر به تيار 2 A وضع عند منتصفه تمامًا ملف دائرى عدد لفاته 20 لفة ونصف قطره 15 cm ويمر به تيار 1 A بحيث ينطبق محور الملف الدائرى على محور الملف اللولبى، **احسب كثافة الفيض عند المركز المشترك (m) إذا كان التياران :**

(أ) فى نفس الاتجاه.

(ب) فى اتجاهين متضادين.

(علمًا بأن : $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m)

الحل

$l_1 = 0.5$ m	$N_1 = 100$	$I_1 = 2$ A	$N_2 = 20$	$I_2 = 1$ A
$r_2 = 0.15$ m	$\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m	$B_t = ?$		

$$B_{(\text{لولبى})} = \mu \frac{N_1 I_1}{\ell_1}$$

$$= 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{100 \times 2}{0.5}$$

$$= 5.03 \times 10^{-4}\ T$$

$$B_{(\text{دائرى})} = \mu \frac{N_2 I_2}{2 r_2}$$

$$= 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{20 \times 1}{2 \times 0.15}$$

$$= 8.38 \times 10^{-5}\ T$$

(أ)

$$B_t = B_{(\text{لولبى})} + B_{(\text{دائرى})}$$

$$= (5.03 \times 10^{-4}) + (8.38 \times 10^{-5})$$

$$= \mathbf{5.868 \times 10^{-4}\ T}$$

(ب)

$$B_t = B_{(\text{لولبى})} - B_{(\text{دائرى})}$$

$$= (5.03 \times 10^{-4}) - (8.38 \times 10^{-5})$$

$$= \mathbf{4.192 \times 10^{-4}\ T}$$

إرشاد

* عند إبعاد لفات الملف الدائرى عن بعضها بانتظام يصبح ملف لولبى له نفس عدد لفات الملف الدائرى ويمر به نفس التيار المار فى الملف الدائرى ويمكن المقارنة بينهما طبقًا للعلاقة :

$$\frac{B_{(\text{دائرى})}}{B_{(\text{لولبى})}} = \frac{\ell_{(\text{لولبى})}}{2 r_{(\text{دائرى})}}$$

مثال

ملف دائرى نصف قطره 5 cm يمر فيه تيار يولد مجالًا مغناطيسيًا كثافة فيضه 3×10^{-2} T فإذا أبعدت لفات الملف عن بعضها بانتظام حتى أصبح طوله 30 cm،

احسب كثافة الفيض المغناطيسى عند نقطة عند منتصف طول الملف تقع على محوره.

الحل

$r_{(\text{دائرى})} = 5\ cm$	$B_{(\text{دائرى})} = 3 \times 10^{-2}\ T$	$\ell_{(\text{لولبى})} = 30\ cm$	$B_{(\text{لولبى})} = ?$

$$\frac{B_{(\text{دائرى})}}{B_{(\text{لولبى})}} = \frac{\ell_{(\text{لولبى})}}{2 r_{(\text{دائرى})}} \quad , \quad \frac{3 \times 10^{-2}}{B_{(\text{لولبى})}} = \frac{30}{2 \times 5}$$

$$B_{(\text{لولبى})} = \mathbf{10^{-2}\ T}$$

إرشاد

- في حالة وضع سلك مستقيم موازي لمحور ملف لولبي أو عمودي على امتداد محور الملف ويمر بكل منهما تيار كهربي (المجالان متعامدان) فإن محصلة كثافة الفيض المغناطيسي عند نقطة تقع على محور الملف اللولبي وتبعد مسافة معينة عن السلك المستقيم :

$$B_t = \sqrt{B^2_{(\text{سلك})} + B^2_{(\text{لولبي})}}$$

مثال

50 A

0.7 A

في الشكل المقابل سلك مستقيم موازي لمحور ملف لولبي ويبعد مسافة 20 cm عن محور الملف ويمر بكل منهما تيار كهربي فإذا كان عدد لفات الملف اللولبي في وحدة الأطوال 100 لفة،

احسب محصلة كثافة الفيض عند نقطة عند منتصف طول الملف تقع على محوره.

(علمًا بأن : $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m)

الحل

$I_{(\text{سلك})} = 50$ A $\quad I_{(\text{لولبي})} = 0.7$ A $\quad d = 20 \times 10^{-2}$ m $\quad n = 100$ turn/m

$\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m $\quad B_t = ?$

$$B_{(\text{سلك})} = \frac{\mu I_{(\text{سلك})}}{2\pi d} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 50}{2\pi \times 20 \times 10^{-2}}$$

$$= 5 \times 10^{-5}\ \text{T}$$

$$B_{(\text{لولبي})} = \mu n I_{(\text{لولبي})} = 4\pi \times 10^{-7} \times 100 \times 0.7$$

$$= 8.8 \times 10^{-5}\ \text{T}$$

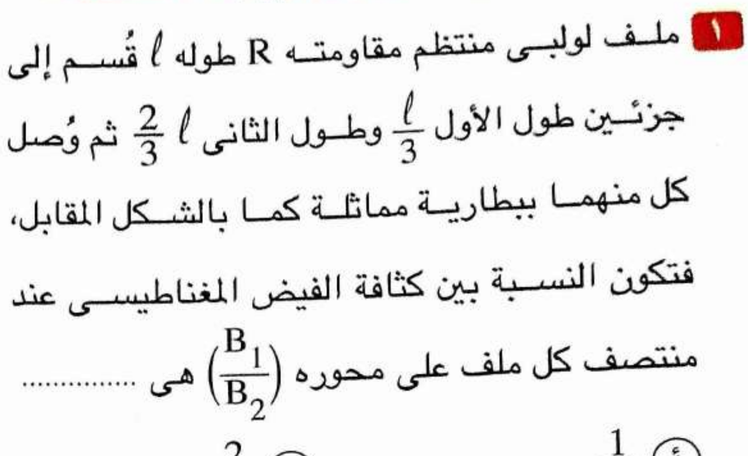
$$B_t = \sqrt{B^2_{(\text{سلك})} + B^2_{(\text{لولبي})}} = \sqrt{(5 \times 10^{-5})^2 + (8.8 \times 10^{-5})^2}$$

$$= \mathbf{1.01 \times 10^{-4}\ T}$$

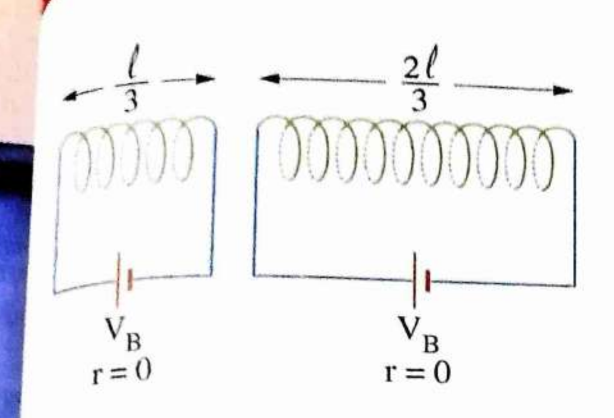


16 اختبـر نفسك

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :



١ ملـف لولبـى منتظم مقاومتـه R طوله ℓ قُسـم إلى جزئـين طول الأول $\frac{\ell}{3}$ وطـول الثانى $\frac{2}{3}\ell$ ثم وُصل كل منهمـا ببطاريـة مماثلـة كمـا بالشـكل المقابل، فتكون النسـبة بين كثافة الفيض المغناطيســى عند منتصف كل ملف على محوره $\left(\frac{B_1}{B_2}\right)$ هى ....



(أ) $\frac{1}{3}$　　(ب) $\frac{2}{1}$　　(جـ) $\frac{2}{3}$　　(د) $\frac{1}{1}$

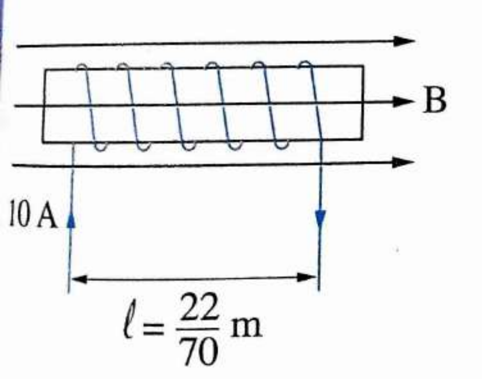
---

٢ ملف دائرى نصف قطره r وعدد لفاته N ويمر به تيار شـدته I ينشـأ عنه عند المركز فيض مغناطيسى كثافتـه B، فـإذا أُبعدت لفاته عن بعضها بانتظام حتى أصبـح ملفًا لولبيًا فإن طول الملف اللولبى اللازم لجعل كثافة الفيض المغناطيسى عند نقطة عند منتصف طوله تقع على محوره هى $\frac{B}{2}$ يساوى ....

(أ) 2 r　　(ب) 4 r　　(جـ) 8 r　　(د) 16 r

---

٣ فـى الشـكل المقابل ملـف لولبى يمر به تيـار كهربى 10 A طوله $\frac{22}{70}$ m وعدد لفاته 10^3 سُـلط عليه مجال مغناطيسى موازى لمحوره واتجاهه نحو الشرق وكثافته 0.04 T فتكون محصلـة كثافـة الفيض عند نقطة عنـد منتصف طول الملف تقع على محوره ....



(علمًا بأن : $\mu_{(هواء)} = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m)

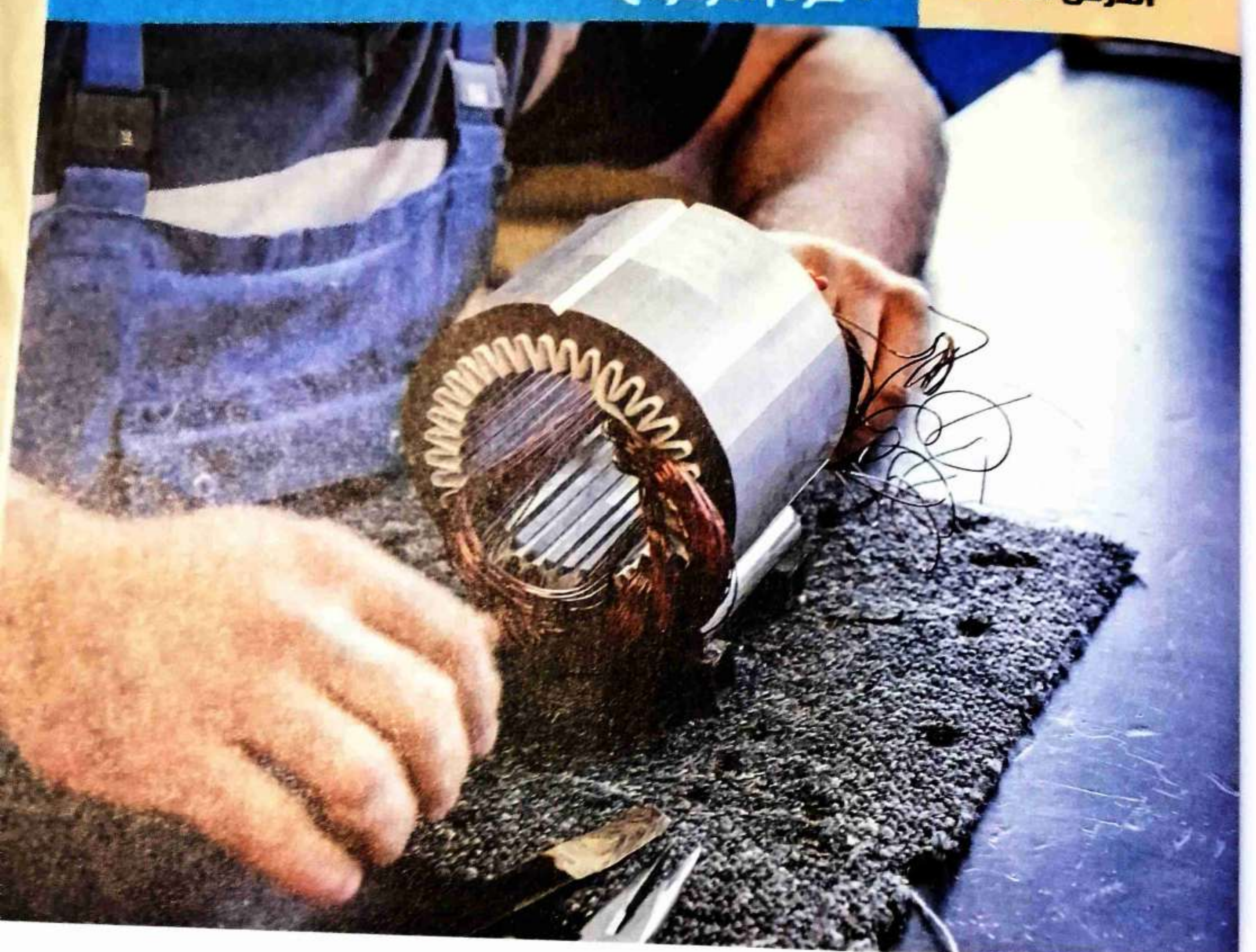
(أ) صفر　　(ب) 4×10^{-2} T

(جـ) $4\sqrt{2} \times 10^{-2}$ T　　(د) 8×10^{-2} T

الفصل 2

الدرس الثالث

• القوة المغناطيسية.
• عزم الازدواج.

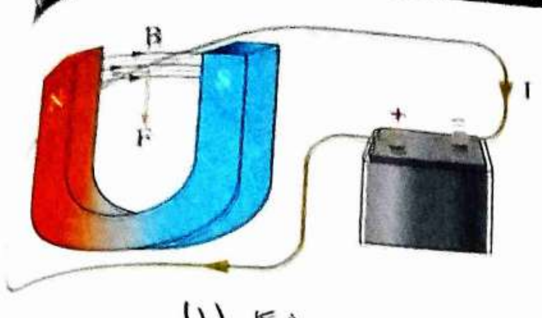


فى هذا الدرس سوف نتعرف :

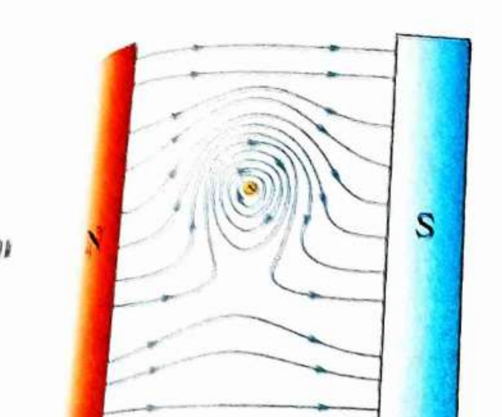
- القوة التى يؤثر بها مجال مغناطيسى على سلك مستقيم يمر به تيار كهربى موضوع فى هذا المجال.
- القوة المتبادلة بين سلكين مستقيمين متوازيين ويحملان تيارين.
- عزم الازدواج المغناطيسى.
- عزم ثنائى القطب المغناطيسى.

القوة التى يؤثر بها مجال مغناطيسى على سلك مستقيم يمر به تيار كهربى موضوع فى هذا المجال

* عند وضع سلك مستقيم يمر به تيار كهربى فى مجال مغناطيسى منتظم شكل (١) بحيث يكون السلك عموديًا على خطوط الفيض المغناطيسى تنشأ قوة مغناطيسية تؤثر على السلك (تكون عمودية على اتجاه التيار الكهربى وعلى اتجاه المجال)، **لاختلاف** محصلة كثافة الفيض المغناطيسى على جانبى السلك والناشئة عن الفيض المغناطيسى الخارجى والفيض المغناطيسى الناتج عن مرور تيار كهربى بالسلك شكل (٢).



شكل (١)



شكل (٢)

* إذا كان السلك حر الحركة تؤدى هذه القوة إلى حركة السلك من الموضع الأعلى فى كثافة الفيض المغناطيسى إلى الموضع الأقل فى كثافة الفيض المغناطيسى، ويمكن تحديد اتجاه هذه القوة باستخدام **قاعدة اليد اليسرى لفلمنج.**

قاعدة اليد اليسرى لفلمنج

نص القاعدة (طريقة الاستخدام)

اجعل الإبهام والسبابة فى اليد اليسرى متعامدين على بعضهما وعلى باقى الأصابع فإذا كانت السبابة تشير لاتجاه الفيض وباقى الأصابع (ماعدا الإبهام) تشير لاتجاه التيار فإن الإبهام يشير لاتجاه القوة المغناطيسية وبالتالى إلى اتجاه حركة السلك.



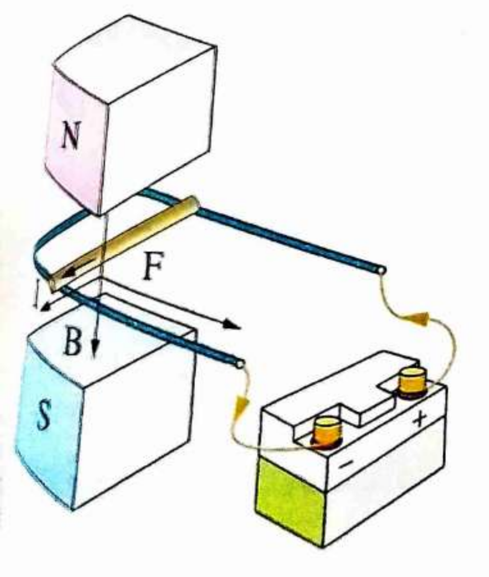
حساب القوة المغناطيسية المؤثرة على سلك مستقيم يمر به تيار كهربى موضوع فى فيض مغناطيسى

* عند وضع سلك مستقيم يمر به تيار كهربى شدته I عموديًا على مجال مغناطيسى كثافة فيضه B وطول الجزء المعرض من السلك للفيض l فإنه يتأثر بقوة مغناطيسية F

حيث :

$F \propto B \quad , \quad F \propto I \quad , \quad F \propto l$

$\therefore F \propto BIl \qquad \therefore F = \text{constant} \times BIl$

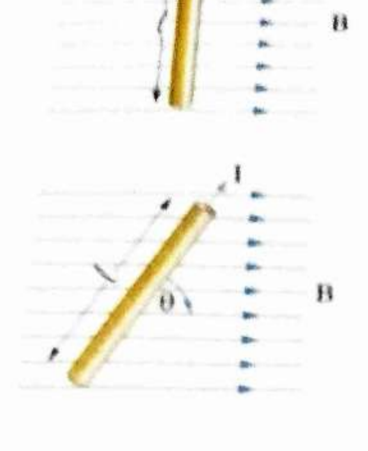


وإذا اتخذت وحدة قياس كثافة الفيض المغناطيسى (B) التسلا (T) ووحدة قياس القوة النيوتن (N) ووحدة قياس شدة التيار الأمبير (A) ووحدة قياس الطول المتر (m) فإن المقدار الثابت يساوى الواحد الصحيح.

$\therefore F = BI\ell$

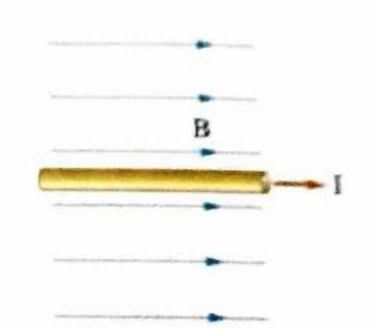
وإذا كان السلك يصنع زاوية θ مع الفيض تصبح العلاقة:

$$F = BI\ell \sin\theta$$

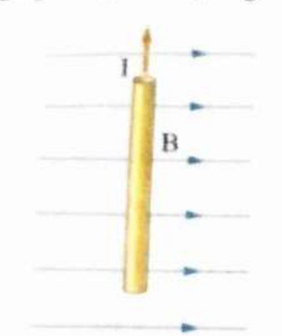


وبالتالى إذا كان

السلك موازى لاتجاه خطوط الفيض $(\theta = 0°)$



السلك عمودى على اتجاه خطوط الفيض $(\theta = 90°)$



فإن

$$F = BI\ell \sin 0 = 0$$

أى تنعدم القوة المؤثرة على السلك

$$F = BI\ell \sin 90 = BI\ell$$

أى تصبح القوة المؤثرة على السلك قيمة عظمى

- **مما سبق يمكن تعريف كثافة الفيض المغناطيسى ووحدة قياسها التسلا (T) والتى تكافئ: نيوتن/أمبير.متر (N/A.m) كالتالى :**

كثافة الفيض المغناطيسى (B) عند نقطة

مقدار القوة المغناطيسية المؤثرة على سلك طوله 1 m يمر به تيار كهربى شدته 1 A موضوع عموديًا على الفيض المغناطيسى عند تلك النقطة.

التسلا (T)

كثافة الفيض المغناطيسى الذى يولد قوة مقدارها 1 N على سلك طوله 1 m يمر به تيار كهربى شدته 1 A عندما يكون السلك عموديًا على خطوط الفيض المغناطيسى.

ملاحظة

* إذا وُضع سلك مستقيم يمر به تيار كهربى منطبقًا على محور :
- ملف لولبى يمر به تيار كهربى «شكل (١)»
أو
- ملف دائرى يمر به تيار كهربى «شكل (٢)»

فإن السلك لا يتأثر بقوة مغناطيسية
لأن خطوط الفيض المغناطيسى عند محور الملف تكون متوازية وموازية لمحور الملف فيكون السلك موازيًا لخطوط المجال المغناطيسى

أى أن $(\theta = 0°)$ وتبعًا للعلاقة $(F = BI\ell \sin\theta)$ تكون القوة المغناطيسية المؤثرة على السلك مساوية للصفر.

$I_{(السلك)}$ $I_{(اللولبى)}$
شكل (١)

$I_{(الدائرى)}$
شكل (٢)

العوامل التى تتوقف عليها القوة المغناطيسية المؤثرة على سلك مستقيم يمر به تيار كهربى موضوع فى مجال مغناطيسى

١ طول السلك : تتناسب القوة المغناطيسية تناسبًا **طرديًا** مع طول السلك.

$$slope = \frac{\Delta F}{\Delta \ell} = BI\sin\theta$$

٢ شدة التيار : تتناسب القوة المغناطيسية تناسبًا **طرديًا** مع شدة التيار المار فى السلك.

$$slope = \frac{\Delta F}{\Delta I} = B\ell\sin\theta$$

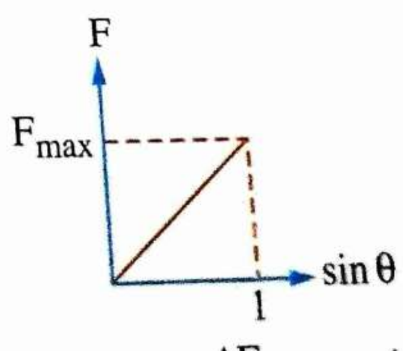
كثافة الفيض المغناطيسى : تتناسب القوة المغناطيسية تناسبًا **طرديًا** مع كثافة الفيض المغناطيسى.

$$slope = \frac{\Delta F}{\Delta B} = I\ell\sin\theta$$

$$F = BI\ell\sin\theta$$

٤ الزاوية المحصورة بين السلك واتجاه الفيض :

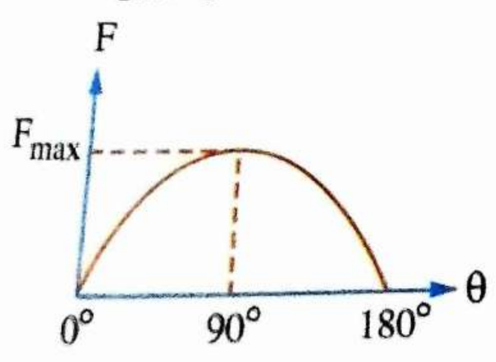
تتناسب القوة المغناطيسية تناسبًا **طرديًا** مع جيب الزاوية المحصورة بين السلك واتجاه الفيض.



$$slope = \frac{\Delta F}{\Delta \sin\theta} = BI\ell$$

أو

تمثل العلاقة بين القوة المغناطيسية والزاوية المحصورة بين السلك واتجاه الفيض **بمنحنى جيبى.**



مثـال

ســلك مســتقيم طولــه 20 cm يمر به تيار كهربى شــدته 3 A وموضــوع فى مجال مغناطيســى كثافة فيضه 2×10^{-2} T، **احسب القوة المؤثرة عليه فى الحالات الآتية :**

(أ) إذا كان السلك موازيًا لاتجاه المجال.

(ب) إذا كان السلك عموديًا على اتجاه المجال.

(جـ) إذا كان السلك يصنع زاوية 30° مع اتجاه المجال.

الحــل

$\ell = 0.2$ m	I = 3 A	$B = 2 \times 10^{-2}$ T	**F = ?**

$$F = BI\ell \sin\theta$$

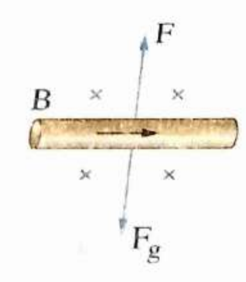
(أ) $F = 2 \times 10^{-2} \times 3 \times 0.2 \times \sin 0 = \mathbf{0}$

(ب) $F = 2 \times 10^{-2} \times 3 \times 0.2 \times \sin 90 = \mathbf{12 \times 10^{-3}\ N}$

(جـ) $F = 2 \times 10^{-2} \times 3 \times 0.2 \times \sin 30 = \mathbf{6 \times 10^{-3}\ N}$

إرشاد

* لكى يظل سلك يمر به تيار كهربى وموضوع فى مجال مغناطيسى عمودى على السلك متزن أفقيًا تحت تأثير قوة وزنه (F_g) والقوة المغناطيســية (F) فإن القوة **F** لابد أن يكون اتجاهها رأسيًا ولأعلى :



$$F = F_g$$

$$BI\ell = mg$$

$$BI\ell = \rho V_{ol} g$$

$$BI\ell = \rho A \ell g$$

$$BI = \rho \pi r^2 g$$

* أما إذا عُكس اتجاه التيار فى السلك أو اتجاه المجال المغناطيسى تصبح القوتين **F** ، F_g فى نفس الاتجاه رأسيًا إلى أسفل،

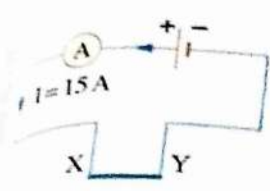
أى أن

$$F_{(\text{المحصلة})} = F_g + F$$

مثال

سلك XY من الألومنيوم مساحة مقطعه $0.2\ cm^2$ معلق أفقيًا، بينما يلامس طرفاه نهاية دائرة كهربية كما هو مبين بالرسم، **احسب** كثافة الفيض المغناطيسى الخارجى التى تعمل على أن يظل السلك معلقًا مع تحديد اتجاه خطوط الفيض.

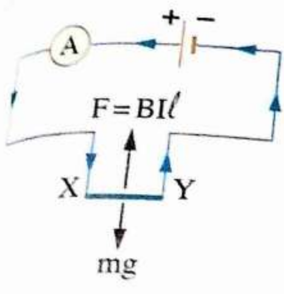
(علمًا بأن : $\rho_{Al} = 2700\ kg/m^3$ ، $g = 10\ m/s^2$)



الحل

$A = 0.2 \times 10^{-4}\ m^2$ | $I = 15\ A$ | $g = 10\ m/s^2$ | $\rho_{Al} = 2700\ kg/m^3$ | $B = ?$

لكى يظل السلك XY معلق يجب أن يتساوى وزن السلك مع القوة المغناطيسية المؤثرة لأعلى.



$$\therefore F = F_g$$

$$\because m = V_{ol}\,\rho_{Al} = A\ell\,\rho_{Al}$$

$$\because F = BI\ell$$

$$\therefore BI\ell = A\ell\,\rho_{Al}\,g$$

$$\therefore B = \frac{0.2 \times 10^{-4} \times 2700 \times 10}{15} = 3.6 \times 10^{-2}\ T$$

واتجاه خطوط الفيض يكون إلى داخل الورقة وعمودى عليها.

17 اختبر نفسك

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

فى الشكل المقابل إذا كانت القوة المغناطيسية المؤثرة على الضلع ab هى F فيكون مقدار القوة المؤثرة على الضلع bc ....

(أ) أقل من F

(ب) أكبر من F

(ج) تساوى F

(د) تساوى $F \sin\theta$

حساب القوة المتبادلة بين سلكين مستقيمين متوازيين ويحملان تيارين

* إذا مر تياران I_1 ، I_2 فى سلكين طويلين جدًا ومتوازيين المسافة بينهما d بحيث كان الطول المشترك للسلكين ℓ فإن المجال المغناطيسى حول كل سلك يؤثر على السلك الآخر بقوة (F) كالتالى :

القوة المؤثرة على السلك

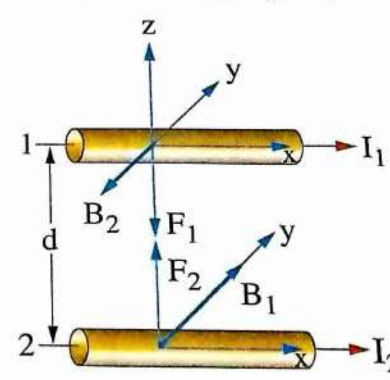
الأول (F_1)	الثانى (F_2)
تنشأ نتيجة تأثره بالمجال المغناطيسى للسلك الثانى : $F_1 = B_2 I_1 \ell = \frac{\mu I_2}{2\pi d} I_1 \ell$	تنشأ نتيجة تأثره بالمجال المغناطيسى للسلك الأول : $F_2 = B_1 I_2 \ell = \frac{\mu I_1}{2\pi d} I_2 \ell$

$$\therefore \quad F = F_1 = F_2 = \frac{\mu I_1 I_2 \ell}{2\pi d}$$

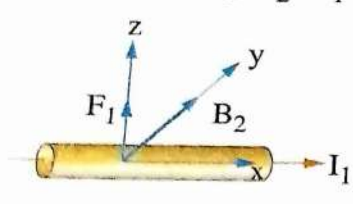
حيث : (F) القوة المتبادلة بين السلكين ويتوقف نوعها على اتجاه التيار فى كل منهما

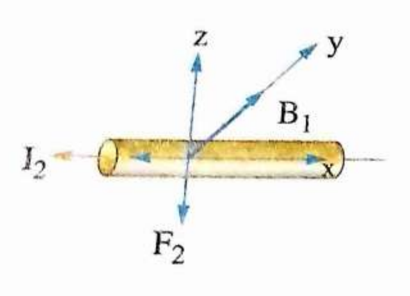
فإذا كان

I_1 ، I_2 فى نفس الاتجاه



I_1 ، I_2 فى اتجاهين متضادين





فإن

القوة المتبادلة تكون **قوة تجاذب** (فى نفس الاتجاه)

القوة المتبادلة تكون **قوة تنافر** (فى اتجاهين متضادين)

لأن

محصلة كثافة الفيض خارج السلكين أكبر من محصلة كثافة الفيض بينهما فتتولد قوة مغناطيسية تؤثر على السلكين اتجاهها من الموضع الأعلى فى كثافة الفيض (الخارج) إلى الموضع الأقل فى كثافة الفيض (الداخل) فيتجاذبا، كما بالشكل.





محصلة كثافة الفيض بين السلكين أكبر من محصلة كثافة الفيض خارجهما فتتولد قوة مغناطيسية تؤثر على السلكين اتجاهها من الموضع الأعلى فى كثافة الفيض (الداخل) إلى الموضع الأقل فى كثافة الفيض (الخارج) فيتنافرا، كما بالشكل.

مثال

سلكان مستقيمان ومتوازيان المسافة بينهما في الهواء 2 m يمر في كل منهما تيار كهربي وفي نفس الاتجاه فإذا انعدمت كثافة الفيض المغناطيسي عند نقطة في منتصف المسافة بينهما وكانت القوة المؤثرة على وحدة الأطوال من أي من السلكين 4×10^{-5} N/m ، احسب شدة التيار المار في كل من السلكين (علمًا بأن : $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m)

الحل

$d = 2$ m | $\frac{F}{\ell} = 4 \times 10^{-5}$ N/m | $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m

$I_1 = ?$ $I_2 = ?$

∵ كثافة الفيض عند نقطة في منتصف المسافة بين السلكين = صفر

$$\therefore I_1 = I_2$$

$$\frac{F}{\ell} = \frac{\mu I_1 I_2}{2\pi d}$$

$$4 \times 10^{-5} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times I_1^2}{2\pi \times 2}$$

$$I_1 = I_2 = 20 \text{ A}$$

إرشاد

* لتعيين القوة المغناطيسية التي يؤثر بها سلكان متوازيان 1 ، 2 على سلك ثالث 3 موازي لهما وفي نفس المستوى :

– نحسب كثافة الفيض الناشئة عن السلك الأول عند موضع السلك الثالث :

$$B_{13} = \mu \frac{I_1}{2\pi d_{13}}$$

– نحسب كثافة الفيض الناشئة عن السلك الثاني عند موضع السلك الثالث :

$$B_{23} = \mu \frac{I_2}{2\pi d_{23}}$$

– نحسب كثافة الفيض المحصلة :

$$B_t = B_{13} \pm B_{23}$$

– نحسب القوة المحصلة :

$$F = B_t I_3 \ell_3$$

مثال

الشكل المقابل يوضح ثلاثة أسلاك متوازية، أوجد القوة المؤثرة على المتر الواحد من السلك b عندما يكون التياران فى السلكين a ، c :

(أ) فى اتجاه واحد. (ب) فى اتجاهين متضادين.

(علمًا بأن : $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m)

الحل

$I_a = I_c = I_b = 5$ A | $d_{ab} = 20 \times 10^{-2}$ m | $d_{cb} = 40 \times 10^{-2}$ m

$\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m | $\frac{F_b}{\ell_b} = ?$

$$B = \frac{\mu I}{2\pi d}$$

$$B_{ab} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 5}{2\pi \times 20 \times 10^{-2}} = 5 \times 10^{-6}\ \text{T}$$

$$B_{cb} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 5}{2\pi \times 40 \times 10^{-2}} = 2.5 \times 10^{-6}\ \text{T}$$

(أ)

$$B_t = B_{ab} - B_{cb} = (5 \times 10^{-6}) - (2.5 \times 10^{-6}) = 2.5 \times 10^{-6}\ \text{T}$$

$$\frac{F_b}{\ell_b} = B_t I_b = 2.5 \times 10^{-6} \times 5 = \mathbf{12.5 \times 10^{-6}\ N/m}$$

(ب)

$$B_t = B_{ab} + B_{cb} = (5 \times 10^{-6}) + (2.5 \times 10^{-6}) = 7.5 \times 10^{-6}\ \text{T}$$

$$\frac{F_b}{\ell_b} = B_t I_b = 7.5 \times 10^{-6} \times 5 = \mathbf{37.5 \times 10^{-6}\ N/m}$$

18 اختبر نفسك

مجاب عنها

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

1 سلكان متوازيان طويلان الطول المتقابل بينهما 35 m والبُعد بينهما 7 cm ويمر بكل منهما تيارًا شدته 25 A فى نفس الاتجاه، فيكون مقدار ونوع القوة المغناطيسية المتبادلة بينهما هما ....

(علمًا بأن : $\mu_{(هواء)} = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m)

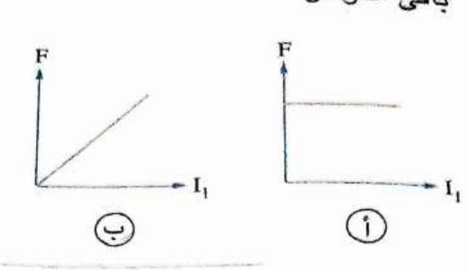
(أ) 62.5×10^{-3} N ، قوة تنافر

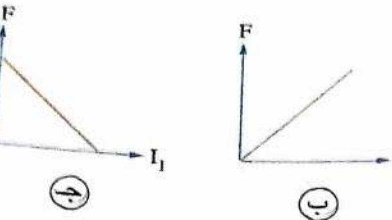
(ب) 2.19×10^{-3} N ، قوة تجاذب

(ج) 62.5×10^{-3} N ، قوة تجاذب

(د) 2.19×10^{-3} N ، قوة تنافر

٢ أى من الأشكال البيانية التالية يمثل العلاقة بين القوة المتبادلة بين السلكين (F) وشدة التيار (I_1) المار فى السلك الأول عند ثبوت باقى العوامل ؟





٣ الشكل المقابل يمثل سلكين مستقيمين متوازيين وفى نفس المستوى، الأول مثبت أفقيًا ويمر به تيار شدته 20 A ويقع على مسافة 10 cm من سلك ثانٍ معلق بحيث يمكنه الحركة لأسفل أو لأعلى، فإذا كانت كتلة المتر الواحد من السلك الثانى 0.12 g/m فإن شدة التيار (I_2) الذى يجب أن يمر فيه حتى لا يسقط بتأثير الجاذبية الأرضية هى ....

(علمًا بأن : $g = 10\ m/s^2$ ، $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m)

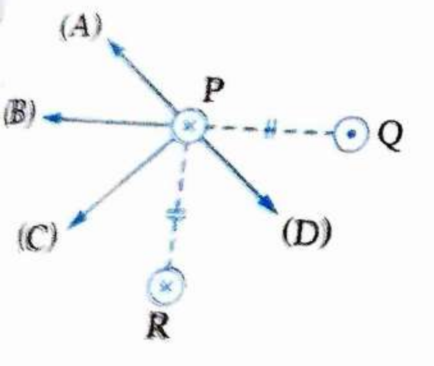
أ) 15 A ب) 20 A ج) 30 A د) 40 A

٤ فى الشكل المقابل تكون النسبة بين القوة المغناطيسية المؤثرة على المتر الواحد من السلك x إلى تلك المؤثرة على المتر الواحد من السلك z تساوى ....

أ) $\frac{1}{5}$ ب) $\frac{5}{6}$

ج) $\frac{7}{15}$ د) $\frac{1}{9}$

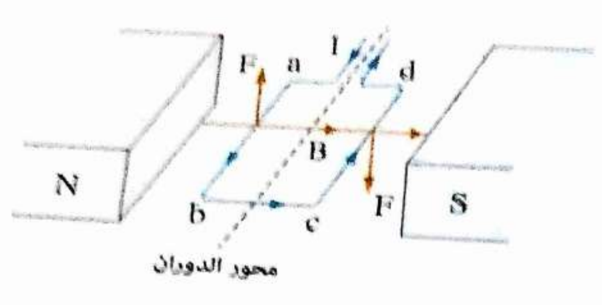
٥ الشكل المقابل يوضح ثلاثة أسلاك طويلة P ، Q ، R مستواها عمودى على الصفحة يمر بكل منها نفس شدة التيار، فإذا كان تيار السلكين P ، R اتجاهه إلى داخل الصفحة بينما تيار السلك Q اتجاهه إلى خارج الصفحة، فأى من الاتجاهات الموضحة (A ، B ، C ، D) يمثل اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة على السلك P ؟



أ) A ب) B

ج) C د) D

عزم الازدواج المغناطيسي المؤثر على ملف مستطيل يمر به تيار كهربي موضوع في مجال مغناطيسي



* إذا وُضع ملف abcd يتكون من لفة واحدة ويمر به تيار كهربي في مجال مغناطيسي منتظم بحيث يكون مستوى الملف موازي لخطوط الفيض المغناطيسي، فإن :

- الضلعان ad ، bc يكونا موازيين لخطوط الفيض المغناطيسي فتكون القوة المؤثرة على كل منهما تساوي صفر.

- الضلعان ab ، cd يكونان متعامدان على خطوط الفيض المغناطيسي فيتأثر الضلعان بقوتين متساويتين في القدار ومتضادتين في الاتجاه قيمة كل منهما :

$$F = BI\ell_{cd}$$

* نتيجة لهاتين القوتين ينشأ عزم ازدواج يعمل على دوران الملف حول محوره، وتتعين قيمته من العلاقة :

عزم الازدواج = إحدى القوتين × البُعد العمودي بينهما

$$\tau = BI\ell_{cd} \times \ell_{bc}$$

حيث : البُعد العمودي بينهما = طول أحد الضلعين ℓ_{ad} أو ℓ_{bc}

$$\because A = \ell_{cd}\,\ell_{bc} \qquad \therefore \tau = BIA$$

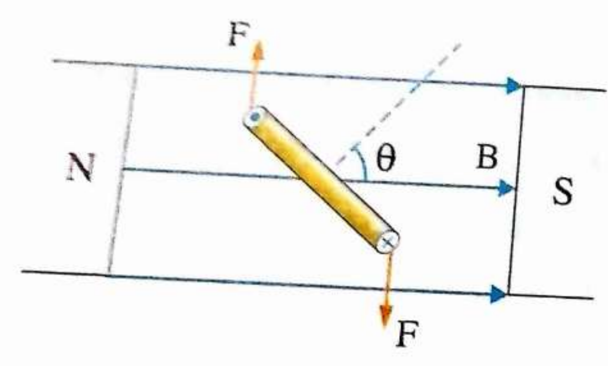
وإذا كان الملف يحتوي على N من اللفات يصبح عزم الازدواج الكلي :

$$\tau = BIAN$$

وعندما يصنع العمودي على مستوى الملف زاوية θ مع خطوط الفيض فإن :



$$\tau = BIAN \sin\theta$$



* وبالمثل عندما يكون مستوى الملف عموديًا على الفيض المغناطيسي تصبح القوتين المؤثرتين على كل ضلعين متقابلين للملف متساويتان في المقدار ومتضادتان في الاتجاه وخط عملهما على استقامة واحدة فتنعدم محصلتهما ولا يتولد عنهما عزم ازدواج، وبالتالي :

إذا كان مستوى الملف

عمودى على اتجاه خطوط الفيض	موازى لاتجاه خطوط الفيض
العمودى على مستوى الملف يكون موازى للمجال $(\theta = 0°)$	العمودى على مستوى الملف يكون عمودى على المجال $(\theta = 90°)$
$\tau = BIAN \sin 0 = 0$	$\tau = BIAN \sin 90 = BIAN$
أى أن عزم الازدواج ينعدم	أى أن عزم الازدواج قيمة عظمى

وحدة قياس عزم الازدواج هى نيوتن.متر (N.m) والتى تكافئ تسلا. أمبير. متر² $(T.A.m^2)$

ملاحظات

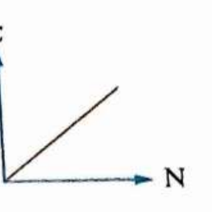
* الضلع الموازى لمحور دوران الملف دائمًا عمودى على اتجاه المجال المغناطيسى ويتأثر بقوة ثابتة $(F = BIL)$ فى جميع أوضاع الملف فى المجال المغناطيسى، وما يتغير مع دوران الملف هو البُعد العمودى بين القوتين المؤثرتين على الضلعين الموازيين لمحور دوران الملف مما يسبب تغير قيمة عزم الازدواج المغناطيسى.

* الضلع العمودى على محور دوران الملف يتأثر بقوة تتراوح من الصفر عندما يكون مستوى الملف موازيًا لاتجاه خطوط الفيض إلى قيمة عظمى عندما يصبح مستوى الملف عموديًا على اتجاه خطوط الفيض.

العوامل التى يتوقف عليها عزم الازدواج المغناطيسى

١ عدد لفات الملف :

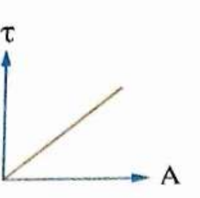
يتناسب عزم الازدواج المغناطيسى تناسبًا **طرديًا** مع عدد لفات الملف.



$$slope = \frac{\Delta\tau}{\Delta N} = BIA \sin\theta$$

٢ مساحة وجه الملف :

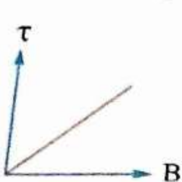
يتناسب عزم الازدواج المغناطيسى تناسبًا **طرديًا** مع مساحة وجه الملف.



$$slope = \frac{\Delta\tau}{\Delta A} = BIN \sin\theta$$

٣ كثافة الفيض المغناطيسى :

يتناسب عزم الازدواج المغناطيسى تناسبًا **طرديًا** مع كثافة الفيض المغناطيسى.



$$slope = \frac{\Delta\tau}{\Delta B} = IAN \sin\theta$$

$$\tau = B\, I\, A\, N \sin\theta$$

٤ الزاوية المحصورة بين العمودى على مستوى الملف وخطوط الفيض :

يتناسب عزم الازدواج المغناطيسى تناسبًا **طرديًا** مع جيب الزاوية المحصورة بين العمودى على مستوى الملف وخطوط الفيض.

τ

τ_{max}

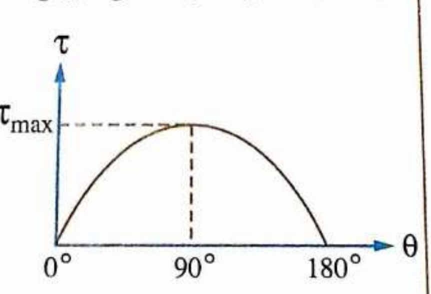
$\sin\theta$

1

$$slope = \frac{\Delta\tau}{\Delta \sin\theta} = BIAN$$

أو

تمثل العلاقة بين عزم الازدواج المغناطيسى والزاوية المحصورة بين العمودى على مستوى الملف وخطوط الفيض **بمنحنى جيبى.**



٥ شدة التيار :

يتناسب عزم الازدواج المغناطيسى تناسبًا **طرديًا** مع شدة التيار المار فى الملف.

τ

I

$$slope = \frac{\Delta\tau}{\Delta I} = BAN \sin\theta$$

مثــال

ملف مستطيل مساحة وجهه $50\ cm^2$ مكون من 100 لفة وُضع فى مجال مغناطيسى منتظم كثافة فيضه 5 T ويمر به تيار شدته 1.2 A، **أوجد عزم الازدواج المؤثر على الملف فى الحالات الآتية :**

(أ) إذا كان مستوى الملف موازيًا لاتجاه خطوط الفيض.

(ب) إذا كان مستوى الملف عموديًا على اتجاه خطوط الفيض.

(جـ) عندما يصنع مستوى الملف زاوية 20° مع خطوط الفيض.

الحــل

$A = 50 \times 10^{-4}\ m^2$ | $N = 100$ | $B = 5\ T$ | $I = 1.2\ A$ | $\tau = ?$

(أ) $\tau = BIAN \sin\theta = 5 \times 1.2 \times 50 \times 10^{-4} \times 100 \times \sin 90 = \mathbf{3\ N.m}$

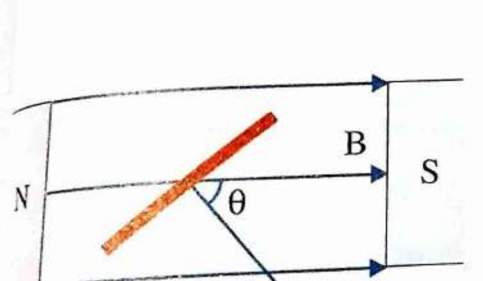
(ب) $\tau = 5 \times 1.2 \times 50 \times 10^{-4} \times 100 \times \sin 0 = \mathbf{0}$

(جـ) $\tau = 5 \times 1.2 \times 50 \times 10^{-4} \times 100 \times \sin 70 = \mathbf{2.82\ N.m}$

عزم ثنائى القطب المغناطيسى

* الملف الذى يمر به تيار كهربى يعمل كثنائى قطب مغناطيسى، ويمثل عزم ثنائى القطب المغناطيسى للملف شدة المجال المغناطيسى الناشئ عن مرور التيار الكهربى خلاله وبالتالى يعتمد على :

1. مساحة وجه الملف وعدد لفاته.
2. شدة التيار المار فيه.



* عزم ثنائى القطب المغناطيسى لملف $|\vec{m_d}|$ هو كمية متجهة واتجاهها عمودى على مستوى الملف.

* **يتعين عزم ثنائى القطب المغناطيسى من العلاقة :**

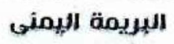
$$|\vec{m_d}| = IAN$$

$$\because \tau = B\,|\vec{m_d}| \sin\theta \qquad \therefore |\vec{m_d}| = \frac{\tau}{B \sin\theta}$$

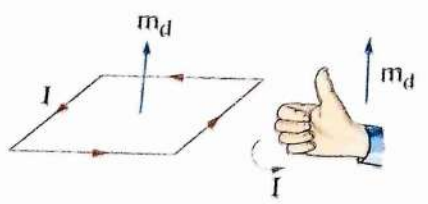
يقاس عزم ثنائى القطب المغناطيسى بوحدة **نيوتن.متر/تسلا (N.m/T) وتكافئ أمبير.متر² $(A.m^2)$**

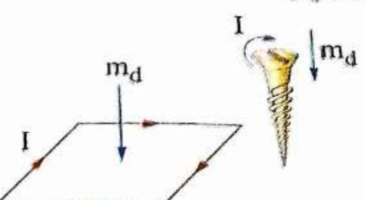
تحديد اتجاه عزم ثنائى القطب المغناطيسى

* عزم ثنائى القطب المغناطيسى دائمًا عمودى على مستوى الملف، ويمكن تحديد اتجاهه باستخدام :



٢ قاعدة اليد اليمنى	١ قاعدة البريمة اليمنى
نص القاعدة (طريقة الاستخدام)	
اجعل أصابع اليد اليمنى ماعدا الإبهام تشير إلى اتجاه التيار فى الملف فيشير الإبهام إلى اتجاه عزم ثنائى القطب المغناطيسى.	اتجاه عزم ثنائى القطب المغناطيسى يكون فى اتجاه تقدم بريمة اليد اليمنى ويكون اتجاه دوران البريمة هو اتجاه التيار.





العوامل التى يتوقف عليها عزم ثنائى القطب المغناطيسى

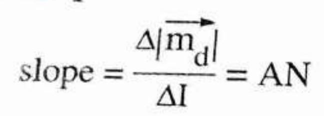
١ مساحة وجه الملف :

يتناسب عزم ثنائى القطب المغناطيسى تناسبًا **طرديًا** مع مساحة وجه الملف.

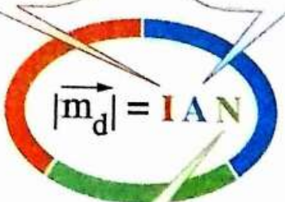
$$slope = \frac{\Delta|\overrightarrow{m_d}|}{\Delta A} = IN$$

٢ شدة التيار :

يتناسب عزم ثنائى القطب المغناطيسى تناسبًا **طرديًا** مع شدة التيار المار فى الملف.

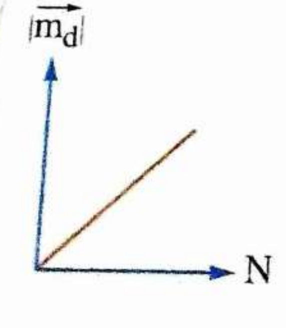


$$slope = \frac{\Delta|\overrightarrow{m_d}|}{\Delta I} = AN$$



٣ عدد لفات الملف :

يتناسب عزم ثنائى القطب المغناطيسى تناسبًا **طرديًا** مع عدد لفات الملف.



$$slope = \frac{\Delta|\overrightarrow{m_d}|}{\Delta N} = IA$$

مثـال

ملف دائرى عدد لفاته N ونصف قطره 10 cm إذا مر به تيار كهربى شدته I تولد عند مركزه فيض مغناطيسى كثافته 2×10^{-4} T ، احسب قيمة عزم ثنائى القطب المغناطيسى له. (علمًا بأن : $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m)

الحـــل

$r = 0.1$ m | $B = 2 \times 10^{-4}$ T | $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m | $|\overrightarrow{m_d}| = ?$

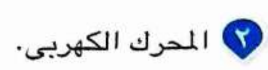
$$\because B = \mu \frac{NI}{2r} \qquad \therefore I = \frac{2rB}{\mu N} = \frac{2 \times 0.1 \times 2 \times 10^{-4}}{4\pi \times 10^{-7} N} = \frac{31.82}{N}$$

$$A = \pi r^2 = \pi \times (0.1)^2 = 0.031 \text{ m}^2 \quad , \quad |\overrightarrow{m_d}| = IAN = \frac{31.82}{N} \times 0.031 \times N = \mathbf{0.99\ A.m^2}$$

تطبيقات عزم الازدواج المغناطيسى

① أجهزة القياس الكهربى التناظرية.

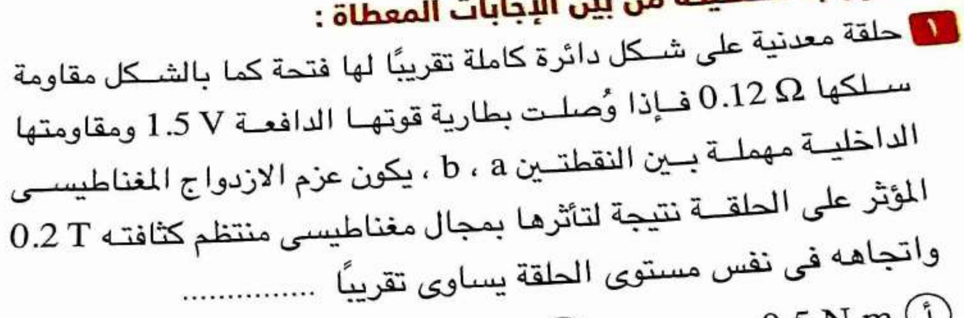
② المحرك الكهربى.



19 اختبـر نفسك

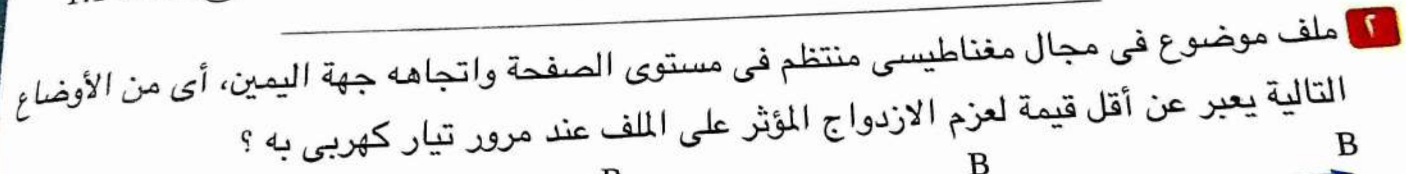
اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

١ حلقة معدنية على شكل دائرة كاملة تقريبًا لها فتحة كما بالشكل مقاومة سلكها 0.12 Ω فإذا وُصلت ببطارية قوتها الدافعة 1.5 V ومقاومتها الداخلية مهملة بين النقطتين a ، b ، يكون عزم الازدواج المغناطيسى المؤثر على الحلقة نتيجة لتأثرها بمجال مغناطيسى منتظم كثافته 0.2 T واتجاهه فى نفس مستوى الحلقة يساوى تقريبًا ....



(أ) 0.5 N.m (ب) 0.7 N.m (جـ) 0.9 N.m (د) 1.1 N.m

٢ ملف موضوع فى مجال مغناطيسى منتظم فى مستوى الصفحة واتجاهه جهة اليمين، أى من الأوضاع التالية يعبر عن أقل قيمة لعزم الازدواج المؤثر على الملف عند مرور تيار كهربى به ؟



(أ) (ب) (جـ) (د)

٣ إذا كان عـزم الازدواج المؤثـر على ملف يمر به تيار ومسـتواه موازيًا لفيض مغناطيسـى كثافته 0.3 T هو 12 N.m، فإن عزم ثنائى القطب المغناطيسى لهذا الملف يساوى ....

(أ) $30\ A.m^2$ (ب) $40\ A.m^2$ (جـ) $50\ A.m^2$ (د) $80\ A.m^2$

أجهزة القياس الكهربى



فى هذا الدرس سوف نتعرف :

- الجلڤانومتر ذو الملف المتحرك [الجلڤانومتر الحساس].
- أميتر التيار المستمر [الأميتر ذو الملف المتحرك].
- ڤولتميتر التيار المستمر.
- الأوميتر.

* درسنا فى الدرس السابق عزم الازدواج المغناطيسى المؤثر على ملف مستطيل يمر به تيار كهربى عند وضعه فى مجال مغناطيسى، وتستخدم هذه الفكرة فى عمل بعض أجهزة القياس الكهربى.

* تنقسم أجهزة القياس الكهربى إلى نوعين :

	❶ أجهزة القياس التناظرية (Analog)	❷ أجهزة القياس الرقمية (Digital)
فكرة العمل	تعتمد على عزم الازدواج المؤثر على ملف يمر به تيار كهربى وقابل للحركة فى مجال مغناطيسى	تعتمد على الإلكترونيات الرقمية
طريقة بيان القراءة	تعتمد على وجود مؤشر يتحرك على تدريج ويعطى القيمة المطلوبة	تعتمد على ظهور أعداد رقمية على الشاشة تحدد القيمة المطلوبة
أمثلة	الجلفانومتر ذو الملف المتحرك والأميتر والفولتميتر للتيار المستمر	أجهزة القياس الرقمية للتيار المستمر أو التيار المتردد

* سنتناول فى هذا الدرس أحد أجهزة القياس الكهربى التناظرية بشىء من التفصيل وهو الجلفانومتر ذو الملف المتحرك وبعض التطبيقات عليه.

الجلفانومتر ذو الملف المتحرك (الجلفانومتر الحساس) Moving Coil Galvanometer

الاستخدام

❶ الاستدلال على وجود تيارات كهربية مستمرة ضعيفة جدًا فى دائرة كهربية وقياس شدتها.

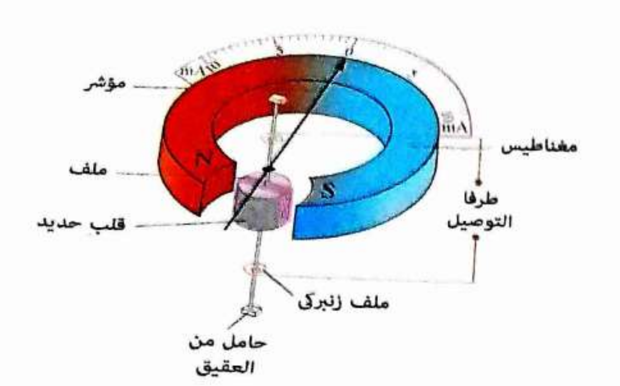
❷ تحديد اتجاه التيارات المستمرة الضعيفة.

18:52

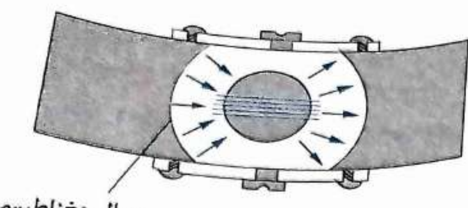
التركيب

1. ملف من سلك رفيع معزول ملفوف حول إطار مستطيل خفيف من الألومنيوم يمكن أن يدور حول محوره.

2. قلب من الحديد المطاوع على هيئة أسطوانة ثابتة يوضع داخل الإطار المستطيل ومعزول عنه، **لتركيز** الفيض المغناطيسي داخل الملف.



3. مغناطيس قوى على شكل حذاء الفرس قطبيه مقعرين يوضع الملف والقلب الحديدى بينهما، **حتى** تكون خطوط الفيض المغناطيسي بين القطبين على هيئة أنصاف أقطار وبالتالى فى أى وضع للملف تكون خطوط الفيض موازية لمستوى الملف وعمودية على الضلعين الطوليين.



منظر علوى للملف

4. زوج من الملفات الزنبركية (اللولبية)، **لتعمل** كوصلات لدخول وخروج التيار من الملف وللتحكم فى حركة الملف كما تعمل على إعادة الملف إلى وضعه الأصلى عند انقطاع التيار.

5. حوامل من العقيق، **يرتكز** عليها الملف لتقليل الاحتكاك وتسهيل حركته.

الأساس العلمى (فكرة العمل)

الفكرة

عزم الازدواج المؤثر على ملف قابل للحركة يمر به تيار كهربى وموضوع فى مجال مغناطيسى (التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى).

الشرح

عند مرور تيار كهربى فى ملف مستواه موازى لخطوط الفيض تتولد قوتان متوازيتان ومتساويتان فى المقدار ومتضادتان فى الاتجاه على الضلعين الطوليين (الموازيين لمحور دورانه) للملف فينشأ عنهما عزم ازدواج فيدور الملف حول محوره.

شرح العمل

1. عند مرور التيار الكهربى فى الملف فإن القوى المغناطيسية تولد عزمًا يعمل على دوران الملف فى اتجاه حركة عقارب الساعة أو عكسها.
2. أثناء دوران الملف يتولد فى الملفين الزنبركيين عزم لىّ يعاكس عزم الازدواج المؤثر على ملف الجلفانومتر وتزداد قيمته تدريجيًا بزيادة زاوية انحراف المؤشر.
3. عندما يتزن عزم اللىّ المتولد فى الملفين الزنبركيين مع عزم الازدواج المؤثر على ملف الجلفانومتر يستقر المؤشر أمام قراءة معينة تدل على مقدار شدة التيار.
4. إذا عُكس اتجاه التيار الكهربى فى الملف يتحرك الملف والمؤشر فى عكس الاتجاه.

ملاحظات

* **صفر تدريج الجلفانومتر ذو الملف المتحرك فى المنتصف.**

لكى يسمح للمؤشر بالانحراف على أى من جانبيه حسب اتجاه التيار المار فى ملفه.

* **لا يصلح الجلفانومتر ذو الملف المتحرك لقياس شدة التيارات الكهربية العالية.**

لأن مرور تيار عالى الشدة فى ملفه قد يسبب :

- انحراف كبير مفاجئ يؤدى إلى اختلال اتزان الملف وفقد ملفات اللىّ جزء من مرونتها مما يسبب خطأ فى صفر التدريج.
- تولد حرارة فى أسلاك الملف مما قد يسبب تلف الملف.

* **يجب معايرة الجلفانومتر ذو الملف المتحرك بعد فترة من استخدامه.**

لأن بعد فترة من استخدام الجلفانومتر ذو الملف المتحرك قد تضعف قوة اللىّ فى الملفين الزنبركيين وكذلك قوة المغناطيس المستخدم مما قد يؤثر على دقة قراءة الجهاز.

حساسية الجلفانومتر

* تتناسب زاوية انحراف مؤشر الجلفانومتر طرديًا مع عزم الازدواج المغناطيسى المؤثر على الملف والذى يتناسب طرديًا مع شدة التيار المار فى الملف.

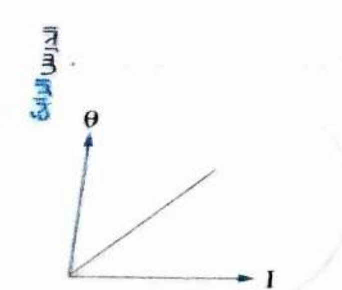
لذلك يكون **تدريج الجلفانومتر منتظم**، فإذا كانت زاوية انحراف مؤشر الجلفانومتر θ وشدة التيار المار فى الملف I فإن $(\theta \propto I)$.

أى أن $\frac{\theta}{I}$ = مقدار ثابت لكل جلفانومتر.

* يسمى هذا المقدار الثابت **حساسية الجلفانومتر** :

حساسية الجلفانومتر $= \frac{\theta}{I}$

تقاس حساسية الجلفانومتر بوحدة **درجة/ميكروأمبير (deg/μA)**



* يمكن تمثيل العلاقة بين زاوية انحراف مؤشر الجلفانومتر (θ)

وشدة التيار المار فى الملف (I) بيانيًا كما بالشكل :

$$\text{حساسية الجلفانومتر} = \frac{\Delta \theta}{\Delta I} = \text{slope}$$

* مما سبق يمكن تعريف حساسية الجلفانومتر كالتالى :

حساسية الجلفانومتر $\left(\frac{\theta}{I}\right)$

تقدر بزاوية انحراف مؤشر الجلفانومتر عن وضع الصفر عند مرور تيار فى ملفه شدته الوحدة.

مثال

جلفانومتر ذو ملف متحرك عندما يمر به تيار كهربى شدته 30 mA ينحرف المؤشر بزاوية 60°،

احسب حساسية الجلفانومتر.

الحل

$\frac{\theta}{I} = ?$ | $\theta = 60°$ | $I = 30\text{ mA}$

$$\text{حساسية الجلفانومتر} = \frac{\theta}{I} = \frac{60}{30} = 2\text{ deg/mA}$$

إرشاد

* لتعيين شدة التيار المار فى ملف الجلفانومتر :

شدة التيار (I) = عدد الأقسام التى ينحرف إليها مؤشر الجلفانومتر × دلالة القسم الواحد

مثال

احسب أقصى شدة تيار يقيسه جلفانومتر مدرج إلى 50 قسم إذا كانت دلالة القسم الواحد 0.1 mA

الحل

$I = ?$ | 0.1 mA = دلالة قسم الجلفانومتر الواحد | 50 = عدد الأقسام التى ينحرف إليها المؤشر

شدة التيار = عدد الأقسام التى ينحرف إليها مؤشر الجلفانومتر × دلالة القسم الواحد

$$I = 50 \times 0.1 = 5\text{ mA} = 5 \times 10^{-3}\text{ A}$$

20 اختبر نفسك

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

الشكل المقابل يمثل انحراف مؤشر جلفانومتر ذو ملف متحرك عند مرور تيار كهربى فى ملفه، فإذا كانت الزاوية (θ) تساوى 30° ، فإن حساسية الجهاز تساوى ....

(أ) $1.5\ deg/\mu A$
(ب) $3\ deg/\mu A$
(جـ) $4.5\ deg/\mu A$
(د) $6\ deg/\mu A$

تطبيقات على الجلفانومتر ذو الملف المتحرك

* يمكن تحويل الجلفانومتر إلى :



١ أميتر التيار المستمر (الأميتر ذو الملف المتحرك) DC Ammeter

الاستخدام

قياس شدة تيارات كهربية مستمرة عالية الشدة مقارنة بالجلفانومتر.

أميتر

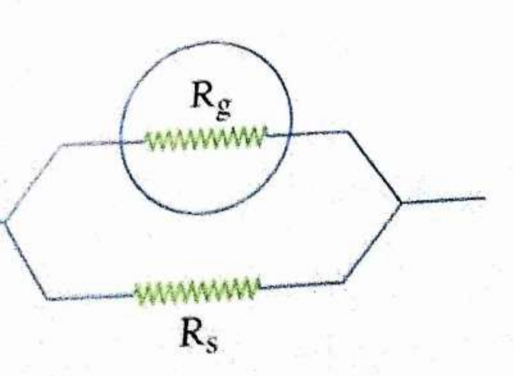
الأساس العلمى (فكرة العمل)

عزم الازدواج المؤثر على ملف قابل للحركة يمر به تيار كهربى وموضوع فى مجال مغناطيسى (التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى).

التوصيل فى الدائرة الكهربية

يوصل الأميتر فى الدوائر الكهربية على التوالى، **حتى** يمر فيه نفس التيار المار فى الدائرة.

التركيب



١ جلفانومتر ذو ملف متحرك.

٢ مقاومة صغيرة تسمى **مجزئ التيار** (R_s)، توصل على التوازى مع ملف الجلفانومتر.

وأهميتها :

١- حماية الجلفانومتر من التلف حيث إنها تسمح بمرور معظم التيار بها.

٢- زيادة مدى قياس شدة التيار بالجلفانومتر فيقيس شدة تيار أكبر.

٣- تقلل من المقاومة الكلية للأميتر وبالتالى يقل تأثير الجهاز على المقاومة الكلية للدائرة وعلى شدة التيار المار بها فتزيد دقة الجهاز فى قياس شدة التيار.

* **مما سبق يمكن تعريف مجزئ التيار كما يلى :**

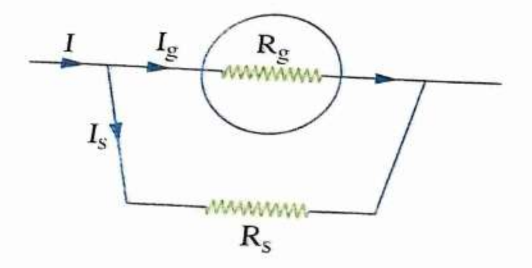
مجزئ التيار

مقاومة صغيرة توصل بالجلفانومتر على التوازى لتحويله إلى أميتر يقيس شدة تيار أكبر.

ملاحظة

* عند توصيل مجزئ تيار على التوازى مع ملف جلفانومتر يزداد مدى قياس شدة التيار بالجلفانومتر فتقل حساسية الجهاز، فعند ثبوت زاوية انحراف المؤشر (θ) تتناسب حساسية الجهاز عكسيًا مع أقصى قراءة على تدريجه.

حساب قيمة مقاومة مجزئ التيار



$\because$ R_g ، R_s متصلتان على التوازى.

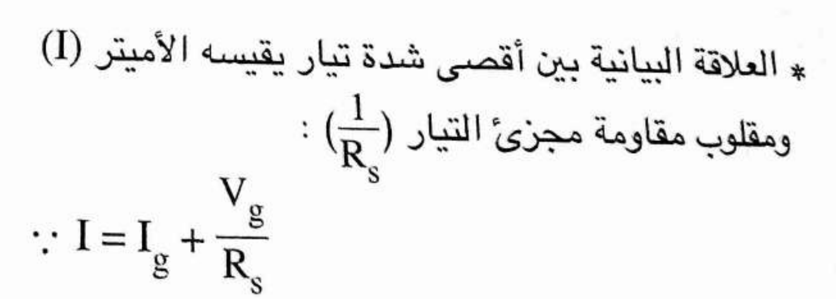
$$\therefore V_g = V_s$$

$$\therefore I_gR_g = I_sR_s \quad , \quad R_s = \frac{I_gR_g}{I_s}$$

$$\because I = I_g + I_s \qquad \therefore I_s = I - I_g$$

$$\therefore \quad \mathbf{R_s = \frac{I_g\,R_g}{I - I_g}}$$

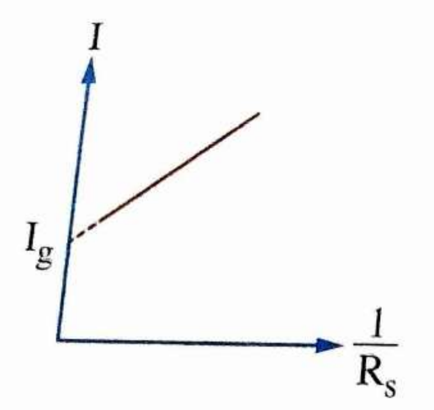
حيث : (I_g) أقصى تيار يتحمله ملف الجلفانومتر، (I_s) التيار المار فى مجزئ التيار، (I) شدة التيار الكلية (أقصى تيار يمكن أن يقيسه الأميتر).



* العلاقة البيانية بين أقصى شدة تيار يقيسه الأميتر (I) ومقلوب مقاومة مجزئ التيار $(\frac{1}{R_s})$:

$$\because I = I_g + \frac{V_g}{R_s}$$

$$\therefore \text{slope} = \frac{\Delta I}{\Delta(\frac{1}{R_s})} = V_g = I_gR_g$$



مثال (١)

جلڤانومتر مقاومة ملفه $2\ \Omega$ يتحمل تيار أقصاه $5\ mA$، **احسب** المقاومة اللازمة لتحويله إلى أميتر يقيس تيار أقصاه $10\ A$

الحـــل

$R_g = 2\ \Omega$ | $I_g = 5 \times 10^{-3}\ A$ | $I = 10\ A$ | $R_s = ?$

$$R_s = \frac{I_g R_g}{I - I_g} = \frac{5 \times 10^{-3} \times 2}{10 - (5 \times 10^{-3})} = \mathbf{1.0005 \times 10^{-3}\ \Omega}$$

مثال (٢)

أميتر يتكون من جلڤانومتر مقاومته $96\ \Omega$ وقراءة نهاية تدريجه (I_g) يتصل بمقاومتين ومفتاح كما بالشكل، فإذا كانت أقصى شدة تيار يقيسها الأميتر والمفتاح (K) مفتوح هى $0.25\ A$، **فأوجد :**

(أ) قيمة (I_g).

(ب) أقصى شدة تيار يقيسها الأميتر عند غلق المفتاح (K).

G
4Ω
12Ω
K

الحـــل

$R_g = 96\ \Omega$ | $(R_s)_1 = 4\ \Omega$ | $(R_s)_2 = 12\ \Omega$ | $I_g = ?$ | $I_2 = ?$

(أ)

$$(R_s)_1 = \frac{I_g R_g}{I_1 - I_g}$$

$$4 = \frac{I_g \times 96}{0.25 - I_g}$$

$$1 - 4\ I_g = 96\ I_g \quad , \quad 1 = 100\ I_g$$

$$\therefore I_g = \mathbf{0.01\ A}$$

(ب) عند غلق المفتاح (K) تصبح مقاومة مجزئ التيار المتصلة بالجلڤانومتر :

$$\grave{R}_s = \frac{(R_s)_1\ (R_s)_2}{(R_s)_1 + (R_s)_2} = \frac{4 \times 12}{4 + 12} = \frac{48}{16} = 3\ \Omega$$

$$\grave{R}_s = \frac{I_g\ R_g}{I_2 - I_g}$$

$$3 = \frac{0.01 \times 96}{I_2 - 0.01}$$

$$3\ I_2 - 0.03 = 0.96 \quad , \quad 3\ I_2 = 0.99 \quad , \quad I_2 = \frac{0.99}{3} = \mathbf{0.33\ A}$$

إرشاد

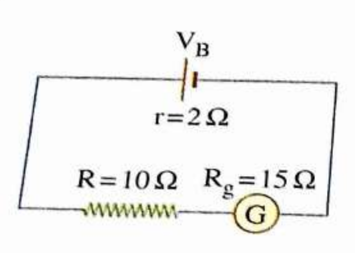
* لحساب المقاومة الكلية للأميتر $(R_{(\text{أميتر})})$:

$$R_{(\text{أميتر})} = \frac{R_g R_s}{R_g + R_s} = \frac{V_g}{I}$$

* لتعيين شدة التيار المار فى الأميتر :

شدة التيار (I) = عدد الأقسام التى ينحرف إليها مؤشر الأميتر × دلالة القسم الواحد

مثال (١)



الدائرة الكهربية المقابلة تتكون من بطارية قوتها الدافعة الكهربية V_B ومقاومتها الداخلية 2 Ω تتصل بمقاومة ثابتة 10 Ω وجلفانومتر مقاومة ملفه 15 Ω، **أوجد** النسبة بين التيارين المارين فى الدائرة الكهربية قبل وبعد توصيل ملف الجلفانومتر بمجزئ تيار قيمته 10 Ω



الحل

$r = 2\ \Omega$	$R = 10\ \Omega$	$R_g = 15\ \Omega$	$R_s = 10\ \Omega$	$\frac{I_1}{I_2} = ?$

* **قبل توصيل مجزئ التيار :**

$$I_1 = \frac{V_B}{R + R_g + r} = \frac{V_B}{10 + 15 + 2} = \frac{V_B}{27}$$

* **بعد توصيل مجزئ التيار :**

$$R_{(\text{أميتر})} = \frac{R_s R_g}{R_s + R_g} = \frac{10 \times 15}{10 + 15} = 6\ \Omega$$

$$I_2 = \frac{V_B}{R + R_{(\text{أميتر})} + r} = \frac{V_B}{10 + 6 + 2} = \frac{V_B}{18}$$

$$\therefore \frac{I_1}{I_2} = \frac{V_B}{27} \times \frac{18}{V_B} = \frac{2}{3}$$

مثال (٢) جلفانومتر مقاومة ملفه $40\ \Omega$ يتكون من عشرة أقسام ويدل كل قسم من أقسامه على $10\ mA$، يحول إلى أميتر يقيس تيار أقصاه $10\ A$، **مع الرسم.**

(أ) اشرح كيف يمكن تحويل الجلفانومتر لأميتر.

(ب) احسب دلالة القسم الواحد بعد تحويل الجلفانومتر لأميتر.

(جـ) احسب المقاومة المكافئة للأميتر.

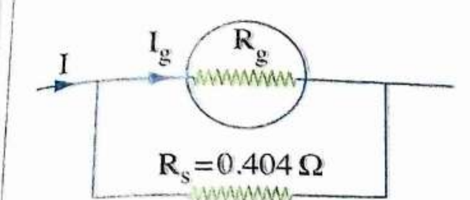
الحل

$R_g = 40\ \Omega$	عدد الأقسام التي ينحرف إليها مؤشر الجلفانومتر = 10
دلالة قسم الجلفانومتر الواحد = $10 \times 10^{-3}\ A$	$I = 10\ A$
$R_s = ?$	دلالة قسم الأميتر الواحد = ? ، $R_{(أميتر)} = ?$

(أ) I_g = عدد الأقسام التي ينحرف إليها مؤشر الجلفانومتر × دلالة قسم الجلفانومتر الواحد

$= 10 \times 10 \times 10^{-3} = 0.1\ A$

$$R_s = \frac{I_g R_g}{I - I_g} = \frac{0.1 \times 40}{10 - 0.1} = \mathbf{0.404\ \Omega}$$



توصل مقاومة قدرها $0.404\ \Omega$ على التوازى مع ملف الجلفانومتر.

(ب) شدة التيار = عدد الأقسام التي ينحرف إليها مؤشر الأميتر × **دلالة قسم الأميتر الواحد**

10 = 10 × **دلالة قسم الأميتر الواحد**

دلالة قسم الأميتر الواحد = 1 أمبير

(جـ)
$$R_{(أميتر)} = \frac{R_g R_s}{R_g + R_s} = \frac{40 \times 0.404}{40 + 0.404} = \mathbf{0.4\ \Omega}$$

إرشاد

* النسبة بين حساسية الأميتر وحساسية الجلفانومتر :

$$\frac{\text{حساسية الأميتر}}{\text{حساسية الجلفانومتر}} = \frac{\frac{\theta}{I}}{\frac{\theta}{I_g}} = \frac{I_g}{I}$$

$$\because \acute{R} = \frac{V_g}{I} = \frac{I_g R_g}{I} = \frac{R_g R_s}{R_g + R_s}$$

$$\therefore \frac{I_g}{I} = \frac{R_s}{R_g + R_s}$$

مثـــال

مجزئ تيار $0.1\ \Omega$ ينقص حساسية جلفانومتر إلى العُشر، **أوجد** مقاومة المجزئ الذى ينقص حساسية هذا الجلفانومتر إلى الربع.

الحـــل

* عندما تنقص الحساسية إلى العُشر فإن :

$$I = 10\ I_g$$

$$\frac{I_g}{I} = \frac{R_s}{R_g + R_s}$$

$$\frac{1}{10} = \frac{0.1}{R_g + 0.1}$$

$$R_g + 0.1 = 10 \times 0.1$$

$$\therefore R_g = 0.9\ \Omega$$

* عندما تنقص الحساسية إلى الربع فإن :

$$I = 4\ I_g$$

$$(R_s)_2 = \frac{I_g R_g}{I - I_g} = \frac{I_g \times 0.9}{4\ I_g - I_g} = \frac{0.9}{3} = 0.3\ \Omega$$

21 اختبـــر نفسـك

مجاب عنها

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

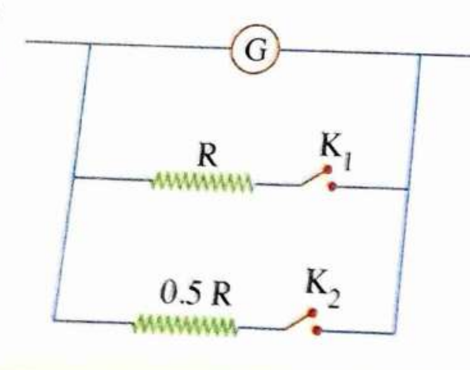
١ إذا كانت النسـبة بين مقاومة الأميتر ومقاومة الجلفانومتر هى $\frac{1}{5}$ فإن النسـبة بين مقاومة مجزئ التيار إلى مقاومة الجلفانومتر هى ....

(أ) $\frac{1}{6}$ (ب) $\frac{6}{1}$ (جـ) $\frac{1}{4}$ (د) $\frac{4}{1}$

٢ جلفانومتـر مقاومـة ملفـه R فـإن مقاومة مجـزئ التيار التى تجعل حساسـية الجهاز تقـل إلى الخمس هى ....

(أ) R (ب) $\frac{R}{2}$ (جـ) $\frac{R}{3}$ (د) $\frac{R}{4}$

٣ فى الشكل الموضح عند غلق المفتاح K_1 فقط تقل حساسية الجهاز إلى ربع قيمتها، فإن حساسية الجهاز عند غلق K_2 فقط تقل إلى .... قيمتها.



(أ) $\frac{1}{5}$ (ب) $\frac{1}{6}$ (جـ) $\frac{1}{7}$ (د) $\frac{1}{8}$

٢ ڤولتميتر التيار المستمر DC Voltmeter

ڤولتميتــر

الاستخدام

قياس فرق الجهد بين نقطتين فى دائرة كهربية.

الأساس العلمى (فكرة العمل)

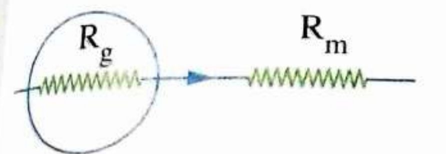
عزم الازدواج المؤثر على ملف قابل للحركة يمر به تيار كهربى وموضوع فى مجال مغناطيسى (التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى).

التوصيل فى الدائرة الكهربية

يوصل الجهاز على التوازى بين طرفى الجزء المراد قياس فرق الجهد بين طرفيه فى الدائرة الكهربية بحيث يتصل الطرف الموجب للڤولتميتر بالجهد الموجب والطرف السالب بالجهد السالب،

ليكون فرق الجهد بين طرفى الڤولتميتر مساوى لفرق الجهد المطلوب قياسه.

التركيب



1. جلڤانومتر ذو ملف متحرك.
2. مقاومة كبيرة تسمى مضاعف الجهد (R_m) توصل على التوالى مع ملف الجلڤانومتر،

وأهميتها :

١- زيادة مدى الجهاز ليقيس فروق جهد أكبر وبالتالى تقل حساسيته.

٢- زيادة المقاومة الكلية للڤولتميتر وبالتالى عند توصيله على التوازى فى الدائرة يقل ما يسـحبه من تيار الدائرة فيقل تأثير الجهاز على فرق الجهد المطلوب قياسه مما يعمل على زيادة دقة الجهاز.

*** مما سبق يمكن تعريف مضاعف الجهد كما يلى :**

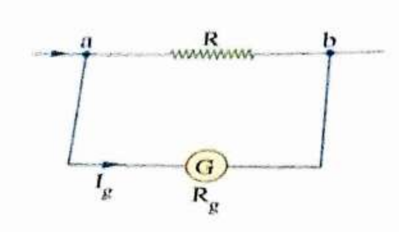
مضاعف الجهد

مقاومة كبيرة توصل بالجلڤانومتر على التوالى لتحويله إلى ڤولتميتر يقيس فروق جهد أكبر.

ملاحظة

* **هل يمكن للجلفانومتر قياس فرق الجهد بين نقطتين ؟**

عند توصيل جلفانومتر على التوازى مع مقاومة (R) فى دائرة كهربية يصبح فرق الجهد بين طرفى الجلفانومتر (V_g) مساويًا لفرق الجهد بين طرفى المقاومة (R).



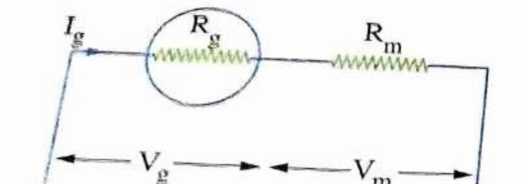
$$\therefore V = V_g = I_g R_g$$

وحيث إن R_g مقدار ثابت لنفس الجلفانومتر.

$$\therefore V_g \propto I_g$$

وبالتالى يمكن إعادة معايرة تدريج الجلفانومتر (I_g) ليصبح تدريجًا مناسبًا لقياس فرق الجهد (V_g).

حساب قيمة مقاومة مضاعف الجهد

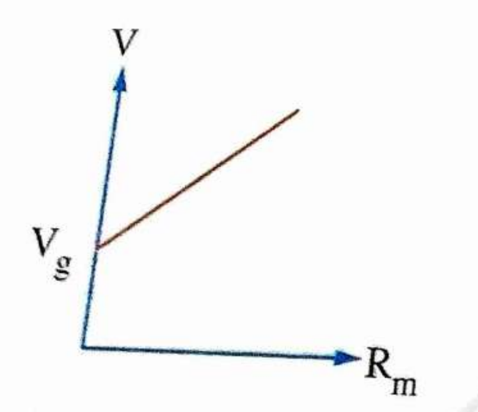


$\because R_g$، R_m متصلتان على التوالى.

$$\therefore V = V_g + V_m = I_g R_g + I_g R_m$$

حيث : (V_m) فرق الجهد بين طرفى مضاعف الجهد، (V) أقصى فرق جهد يقيسه الفولتميتر.

$$\therefore \quad R_m = \frac{V - I_g R_g}{I_g}$$



* العلاقة البيانية بين أقصى فرق جهد يقيسه الفولتميتر (V) ومقاومة مضاعف الجهد (R_m) :

$$\because V = I_g R_g + I_g R_m$$

$$\therefore \text{slope} = \frac{\Delta V}{\Delta R_m} = I_g$$

مثال (١)

جلفانومتر مقاومة ملفه $0.1\ \Omega$ ويبلغ أقصى انحراف لمؤشره عندما يمر بملفه تيار شدته $1\ mA$،
احسب المقاومة المضاعفة للجهد اللازمة لتحويله إلى فولتميتر يصلح لقياس فرق جهد نهايته العظمى $50\ V$

الحل

$R_g = 0.1\ \Omega$ | $I_g = 10^{-3}\ A$ | $V = 50\ V$ | $R_m = ?$

$$V_g = I_g R_g = 10^{-3} \times 0.1 = 10^{-4}\ V$$

$$R_m = \frac{V - V_g}{I_g} = \frac{50 - 10^{-4}}{10^{-3}} = \mathbf{49999.9\ \Omega}$$

مثال (٢)

دائرة كهربية تحتوى على مقاومة مقدارها $20\ \Omega$ موصلة على التوازى بفولتميتر مقاومته $300\ \Omega$ وعندما مر بالدائرة تيار شدته الكلية $1.2\ A$ انحرف مؤشر الفولتميتر إلى نهاية تدريجه،

احسب قراءة الفولتميتر حينئذ، وإذا وُصل هذا الفولتميتر على التوالى مع مقاومة مقدارها $5700\ \Omega$،

احسب أقصى فرق جهد يمكن أن يقيسه الفولتميتر.

الحل

$R = 20\ \Omega$ | $(R_v)_1 = 300\ \Omega$ | $I = 1.2\ A$ | $R_m = 5700\ \Omega$ | $V_1 = ?$ | $V_2 = ?$

$$\grave{R} = \frac{(R_v)_1 R}{(R_v)_1 + R} = \frac{300 \times 20}{300 + 20} = 18.75\ \Omega$$

$$V_1 = I\grave{R} = 1.2 \times 18.75 = \mathbf{22.5\ V}$$

* لحساب أقصى فرق جهد (V_2) يمكن أن يقيسه الفولتميتر بعد توصيل مضاعف الجهد $(5700\ \Omega)$ نعتبر أن مقاومة الفولتميتر الأول $(R_v)_1$ هى مقاومة الجلفانومتر المستخدم فى صناعة الفولتميتر الثانى.
* لحساب V_2 لابد أولاً إيجاد أقصى شدة تيار (I_g) يتحمله الجلفانومتر :

$$I_g = \frac{V_1}{(R_v)_1} = \frac{22.5}{300} = 0.075\ A$$

$$R_m = \frac{V_2 - V_1}{I_g}$$

$$5700 = \frac{V_2 - 22.5}{0.075}$$

$$\therefore V_2 = \mathbf{450\ V}$$

إرشاد

- لحساب المقاومة الكلية للفولتميتر $(R_{(\text{فولتميتر})})$:

$$R_{(\text{فولتميتر})} = R_g + R_m = \frac{V}{I_g}$$

- لتعيين فرق الجهد الكلى بين طرفى الفولتميتر :

فرق الجهد (V) = عدد الأقسام التى ينحرف إليها مؤشر الفولتميتر × دلالة القسم الواحد

مثال ١

جلفانومتر حساس مقاومة ملفه $150\ \Omega$ وأقصى تيار يتحمله $10\ mA$ وُصل ملفه على التوازى بمقاومة مقدارها $10\ \Omega$ ليكونا معًا جهازًا واحدًا، ثم وُصل هذا الجهاز على التوالى بمقاومة مقدارها $1000\ \Omega$ ليكونا فولتميتر، **احسب** أقصى فرق جهد يمكن أن يقيسه هذا الفولتميتر.

الحل

$R_g = 150\ \Omega$ | $I_g = 10\ mA$ | $R_s = 10\ \Omega$ | $R_m = 1000\ \Omega$

$V = ?$

$$R_s = \frac{I_g R_g}{I - I_g}$$

$$10 = \frac{10 \times 10^{-3} \times 150}{I - (10 \times 10^{-3})}$$

$$\therefore I = 0.16\ A$$

$$\grave{R} = \frac{150 \times 10}{150 + 10} = 9.375\ \Omega$$

$$V = I(\grave{R} + R_m) = 0.16 \times (9.375 + 1000) = \mathbf{161.5\ V}$$

مثال ٢

فولتميتر يتكون من جلفانومتر مقاومته $250\ \Omega$ ومضاعف جهد $(R_m)_1$ يستخدم لقياس فروق جهد حتى $75\ V$، فإذا كانت شدة التيار المار فى الفولتميتر $0.02\ A$، **احسب :**

(أ) مقاومة مضاعف الجهد $(R_m)_1$.

(ب) أقصى فرق جهد يقيسه الفولتميتر إذا وُصل مع مضاعف الجهد على التوالى مقاومة أخرى قيمتها $3750\ \Omega$

الحــل

$R_g = 250\ \Omega$ | $V_1 = 75\ V$ | $I_g = 0.02\ A$ | $(R_m)_1 = ?$ | $V_2 = ?$

(أ)

$$R_{(\text{فولتميتر})} = \frac{V_1}{I_g} = \frac{75}{0.02} = 3750\ \Omega$$

$$R_{(\text{فولتميتر})} = R_g + (R_m)_1$$

$$(R_m)_1 = R_{(\text{فولتميتر})} - R_g = 3750 - 250 = \mathbf{3500\ \Omega}$$

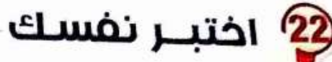
(ب)

$$(R_m)_2 = (R_m)_1 + 3750 = 3500 + 3750 = 7250\ \Omega$$

$$V_2 = I_g\left((R_m)_2 + R_g\right)$$

$$= 0.02\ (7250 + 250) = \mathbf{150\ V}$$





22 اختبر نفسك

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

1 فى جهاز الفولتميتر تكون النسبة بين شدة التيار المار فى ملف الجلفانومتر وشدة التيار المار فى مضاعف الجهد المتصل به دائمًا ....

(أ) أكبر من الواحد الصحيح (ب) تساوى الواحد الصحيح
(جـ) أصغر من الواحد الصحيح (د) لا يمكن تحديد الإجابة

2 ثلاثة فولتميترات A ، B ، C لها نفس المدى ومقاومتها على الترتيب 500 Ω ، 5000 Ω ، 10000 Ω ، فيكون الفولتميتر الأكثر دقة عند استخدامه فى قياس فرق الجهد هو ....

(أ) الفولتميتر A (ب) الفولتميتر B
(جـ) الفولتميتر C (د) جميعها لها نفس الدقة

3 فولتميتر مقاومته 1000 Ω يستطيع قياس فرق جهد أقصاه 1 V ، إذا وُصل معه مضاعف جهد R_m فزاد مداه بمقدار 3 V فتكون قيمة R_m هى ....

(أ) 3000 Ω (ب) 4000 Ω
(جـ) 6000 Ω (د) 8000 Ω

٣ الأوميتر Ohmmeter

الاستخدام

قياس قيمة مقاومة مجهولة.

التوصيل

يوصل طرفى الجهاز بطرفى المقاومة المراد قياس قيمتها (R_x).

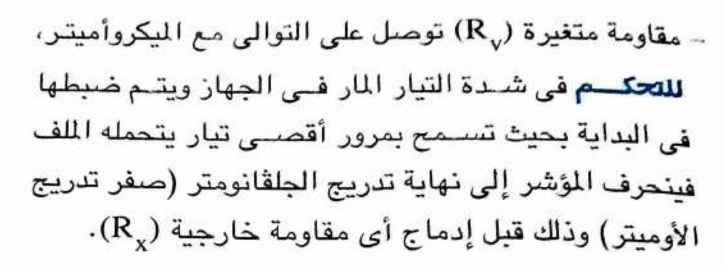
التركيب

١ ميكروأميتر (جلفانومتر) مقاومته R_g

٢ مقاومة عيارية تتكون من :

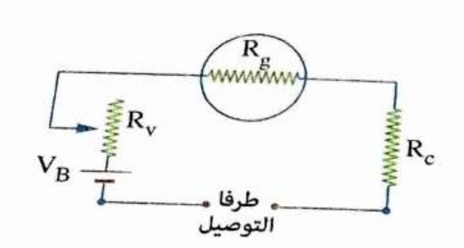
- مقاومة ثابتة (R_c) توصل على التوالى مع الميكروأميتر،

تعمل على زيادة مقاومة دائرة الأوميتر كى لا يمر تيار كبير فى ملف الجلفانومتر فلا يتلف ملفه.



- مقاومة متغيرة (R_v) توصل على التوالى مع الميكروأميتر،

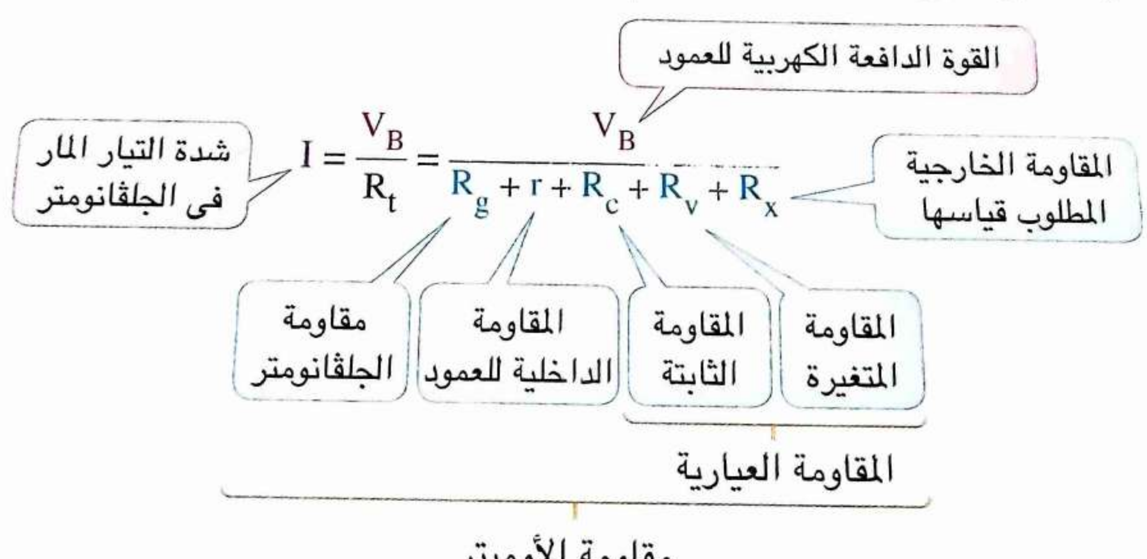
للتحكم فى شدة التيار المار فى الجهاز ويتم ضبطها فى البداية بحيث تسمح بمرور أقصى تيار يتحمله الملف فينحرف المؤشر إلى نهاية تدريج الجلفانومتر (صفر تدريج الأوميتر) وذلك قبل إدماج أى مقاومة خارجية (R_x).



٣ عمود جاف قوته الدافعة الكهربية ثابتة حتى تتناسب شدة التيار المار فى الجلفانومتر تناسبًا عكسيًا مع المقاومة الكلية داخل وخارج جهاز الأوميتر تبعًا لقانون أوم للدائرة المغلقة.

الأساس العلمى (فكرة العمل)

يعتمد قياس مقاومة ما على العلاقة العكسية بين قيمة المقاومة الكلية للدائرة (داخل وخارج جهاز الأوميتر) وشدة التيار المستمر عند ثبوت فرق الجهد تبعًا لقانون أوم للدائرة المغلقة :



فإذا ظل فرق الجهد ثابتًا ومعلومًا تقل قيمة شدة التيار المار فى الدائرة بزيادة قيمة المقاومة الكلية (R_t) ويمكن معايرة الجلفانومتر ليعطى قيمة المقاومة المجهولة مباشرةً.

طريقة المعايرة

* فى أحد أجهزة الأوميتر تم استخدام جلفانومتر مقاومة ملفه $250\ \Omega$ وأقصى شدة تيار يقيسها $400\ \mu A$ وتم توصيل الجلفانومتر ببطارية قوتها الدافعة الكهربية $1.5\ V$ مهملة المقاومة الداخلية ومقاومة ثابتة مقدارها $3000\ \Omega$ ومقاومة متغيرة مداها $6565\ \Omega$، ويمكن معايرة هذا الأوميتر كالتالى :

❶ تحسب قيمة مقاومة الدائرة اللازمة لمرور تيار I_g شدته $400\ \mu A$ من العلاقة :

$$\hat{R} = \frac{V_B}{I_g} = \frac{1.5}{400 \times 10^{-6}} = 3750\ \Omega$$

❷ تضبط المقاومة المتغيرة (R_v) على $500\ \Omega$ لتصبح مقاومة الأوميتر $3750\ \Omega$ ، حيث :

$$\hat{R} = R_c + R_g + R_v = 3000 + 250 + 500 = 3750\ \Omega$$

فينحرف المؤشر إلى نهاية التدريج وتكون أقصى شدة تيار تمر فى الملف هى :

$$I_g = \frac{V_B}{R_g + R_c + R_v} = \frac{V_B}{\hat{R}}$$

❸ عند توصيل مقاومة معلومة (R_x) بطرفى الأوميتر يمر تيار معين خلال الجلفانومتر فينحرف مؤشره إلى قراءة معينة للتيار تسجل مقابلها قيمة المقاومة،

مثال :

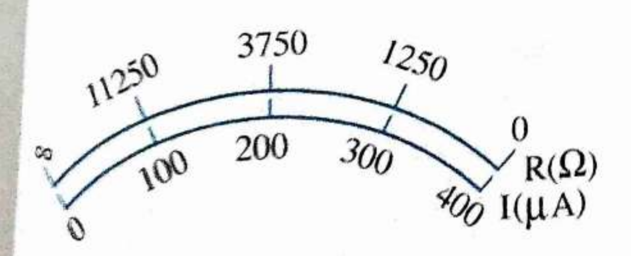
- عند توصيل مقاومة R_x قيمتها $1250\ \Omega$ (ثلث مقاومة الأوميتر) ينحرف المؤشر إلى $\frac{3}{4}$ تدريج التيار، ويمكن حساب شدة التيار المار من العلاقة :

$$I = \frac{V_B}{R_t} = \frac{V_B}{\hat{R} + R_x} = \frac{V_B}{R_g + R_c + R_v + R_x}$$

- عند توصيل مقاومة R_x قيمتها $3750\ \Omega$ (تساوى مقاومة الأوميتر) يقل التيار المار وينحرف المؤشر إلى منتصف تدريج التيار.

- عند توصيل مقاومة R_x قيمتها $11250\ \Omega$ (3 أمثال مقاومة الأوميتر) ينحرف المؤشر إلى $\frac{1}{4}$ تدريج التيار.

❹ يتم تسجيل النتائج التى تم الحصول عليها على كل من تدريجى الجلفانومتر والأوميتر.



* يمكن تلخيص معايرة الأوميتر باعتبار أن مقاومة جهاز الأوميتر هى R_o كما فى الجدول التالى :

المقاومة الخارجية المتصلة بطرفى الأوميتر (R_x)	المقاومة الكلية ($R_o + R_x$)	شدة التيار المار فى الجلفانومتر (I_g)
zero (طرفى الأوميتر متصلين معًا)	R_o	قراءة نهاية التدريج (I_g)
R_o (تساوى مقاومة الأوميتر)	$2R_o$	نصف تدريج الجلفانومتر ($\frac{1}{2} I_g$)
$2R_o$ (ضعف مقاومة الأوميتر)	$3R_o$	ثلث تدريج الجلفانومتر ($\frac{1}{3} I_g$)
$3R_o$ (ثلاثة أمثال مقاومة الأوميتر)	$4R_o$	ربع تدريج الجلفانومتر ($\frac{1}{4} I_g$)
∞ (دائرة الأوميتر مفتوحة)	∞	صفر تدريج الجلفانومتر (0)

مما سبق نستنتج أن :

- **التدريج المستخدم لقياس المقاومات (تدريج الأوميتر) عكس تدريج التيار (تدريج الأميتر).**

لأن شدة التيار تتناسب عكسيًا مع المقاومة الكلية للدائرة ($I \propto \frac{1}{R_t}$) ، أى عند أقصى انحراف لمؤشر الجلفانومتر تنعدم المقاومة الخارجية بين طرفى الأوميتر (عند ملامسة طرفى التوصيل).

- **أقسام تدريج الأوميتر ليست متساوية (التدريج غير منتظم).**

لأن شدة التيار تتناسب عكسيًا مع المقاومة الكلية للدائرة وليس مع المقاومة المجهولة فقط.

مثال

مللى أميتر مقاومة ملفه 50 Ω يصل مؤشره إلى نهاية تدريجه إذا مر به تيار شدته 0.01 A يُراد تعديله إلى أوميتر، فإذا كانت القوة الدافعة الكهربية للعمود 2 V والمقاومة الداخلية له مهملة، **احسب** المقاومة (R) اللازمة لمعايرة الجهاز.

الحل

$R_g = 50\ \Omega$ | $I_g = 0.01\ A$ | $V_B = 2\ V$ | $R = ?$

$$\because I_g = \frac{V_B}{R_g + R} \quad , \quad 0.01 = \frac{2}{50 + R} \quad , \quad \therefore R = 150\ \Omega$$

إرشاد

* عندما ينحرف مؤشر الأوميتر إلى جزء من التدريج، فإن :

$$I_g = \frac{V_B}{\grave{R}} \quad , \quad I = \frac{V_B}{\grave{R} + R_x} \quad , \quad \therefore \frac{I_g}{I} = \frac{\grave{R} + R_x}{\grave{R}}$$

مثال ١

أوميتر ينحرف مؤشره إلى $\frac{1}{4}$ تدريج التيار عندما يوصل معه مقاومة $300\ \Omega$،

احسب المقاومة التى تجعل مؤشره ينحرف إلى $\frac{1}{6}$ تدريج التيار.

الحـــل

$I_1 = \frac{I_g}{4}$ | $(R_x)_1 = 300\ \Omega$ | $I_2 = \frac{I_g}{6}$ | $(R_x)_2 = ?$

$\because I_1 = \frac{V_B}{\grave{R} + (R_x)_1}$, $\because I_g = \frac{V_B}{\grave{R}}$

$\therefore 4\grave{R} = \grave{R} + 300$, $\therefore \frac{1}{4} I_g = \frac{V_B}{4\grave{R}} = \frac{V_B}{\grave{R} + 300}$

$\therefore \frac{V_B}{6\grave{R}} = \frac{V_B}{\grave{R} + (R_x)_2}$, $\because I_2 = \frac{I_g}{6}$, $\grave{R} = 100\ \Omega$

$\therefore (R_x)_2 = 500\ \Omega$, $\therefore 600 = 100 + (R_x)_2$

مثال ٢

أوميتر ينحرف مؤشره إلى $\frac{1}{3}$ تدريج التيار عندما توصل معه مقاومة $600\ \Omega$، **احسب :**

(أ) المقاومة اللازم توصيلها لينحرف مؤشره إلى $\frac{3}{4}$ تدريج التيار.

(ب) القوة الدافعة الكهربية للبطارية إذا كان أقصى تيار يقيسه الميكروأميتر 10 mA

الحـــل

$I_1 = \frac{I_g}{3}$ | $I_2 = \frac{3 I_g}{4}$ | $I_g = 10 \times 10^{-3}\ A$ | $(R_x)_1 = 600\ \Omega$ | $(R_x)_2 = ?$ | $V_B = ?$

(أ)

$\frac{3 I_g}{I_g} = \frac{\grave{R} + 600}{\grave{R}}$, $\frac{I_g}{I_1} = \frac{\grave{R} + (R_x)_1}{\grave{R}}$

$\grave{R} = 300\ \Omega$, $3\grave{R} = \grave{R} + 600$

$\frac{4 I_g}{3 I_g} = \frac{300 + (R_x)_2}{300}$, $\frac{I_g}{I_2} = \frac{\grave{R} + (R_x)_2}{\grave{R}}$

$(R_x)_2 = 100\ \Omega$, $400 = 300 + (R_x)_2$

(ب)

$I_g = \frac{V_B}{\grave{R}}$

$V_B = 3\ V$, $10 \times 10^{-3} = \frac{V_B}{300}$

مجاب عنها

23 اختبــر نفسك

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

يبين الشكل المقابل أقسام متساوية على تدريج جهاز الأوميتر ، باستخدام البيانات المدونة تكون القوة الدافعة الكهربية للعمود الكهربى فى الأوميتر مساوية لـ ....

∞ $12\ k\Omega$ $400\ \mu A$ 0

(أ) 1.4 V   (ب) 1.8 V   (جـ) 1.2 V   (د) 1.6 V

* مما سبق يمكن المقارنة بين الأميتر والفولتميتر والأوميتر كما يلى :

	الأميتر	الفولتميتر	الأوميتر
الوظيفة	قياس شدة تيارات كهربية مستمرة عالية الشدة مقارنة بالجلفانومتر	قياس فرق الجهد بين نقطتين	قياس قيمة مقاومة مجهولة
فكرة العمل	عزم الازدواج المؤثر على ملف يمر به تيار كهربى قابل للحركة فى مجال مغناطيسى	عزم الازدواج المؤثر على ملف يمر به تيار كهربى قابل للحركة فى مجال مغناطيسى	يعتمد قياس مقاومة ما (R_x) على العلاقة العكسية بين قيمة المقاومة الكلية للدائرة وشدة التيار عند ثبوت فرق الجهد تبعًا لقانون أوم للدائرة المغلقة $\left(I = \frac{V_B}{R_t}\right)$، فإذا ظل فرق الجهد ثابتًا ومعلومًا تقل قيمة شدة التيار المار فى الدائرة بزيادة قيمة المقاومة R_x
المقاومة التى تتصل بملف الجلفانومتر	يوصل ملفه على التوازى بمقاومة صغيرة (مجزئ التيار R_s)	يوصل ملفه على التوالى بمقاومة كبيرة (مضاعف الجهد R_m)	يوصل ملفه على التوالى بمقاومة عيارية (مقاومة ثابتة (R_c) ومقاومة متغيرة (R_v)) وعمود كهربى مقاومته الداخلية (r)
طريقة التوصيل	يوصل على التوالى فى الدائرة المراد قياس شدة التيار الكهربى المار فيها	يوصل على التوازى فى الدائرة بين النقطتين المراد قياس فرق الجهد بينهما	يوصل طرفى الجهاز بطرفى المقاومة المراد قياس قيمتها (R_x)
القانون المستخدم	$R_s = \frac{I_g R_g}{I - I_g}$	$R_m = \frac{V - V_g}{I_g}$	$I = \frac{V_B}{R_g + R_c + R_v + R_x + r}$
تدريج الجهاز	منتظم لأن $(\theta \propto I)$	منتظم لأن $(\theta \propto V)$	غير منتظم لأن $\left(I \propto \frac{1}{\grave{R} + R_x}\right)$

الوحدة الأولى

الكهربية التيارية والكهرومغناطيسية

الفصل

3

الحث الكهرومغناطيسى

الدرس الأول
- قانون فاراداى.
- القوة الدافعة الكهربية المستحثة المتولدة فى سلك مستقيم.

الدرس الثانى
- الحث المتبادل بين ملفين.
- الحث الذاتى لملف.

الدرس الثالث
المولد الكهربى.

الدرس الرابع
- المحول الكهربى.
- المحرك الكهربى.



الفصل 3

الدرس الأول

- قانون فاراداى.
- القوة الدافعة الكهربية المستحثة المتولدة فى سلك مستقيم.



فى هذا الدرس سوف نتعرف :

- الحث الكهرومغناطيسى.
- قاعدة لنـز.
- قانون فاراداى للحث الكهرومغناطيسى.
- القوة الدافعة الكهربية المستحثة فى سلك مستقيم.

* درسنا في الفصل السابق اكتشاف أورستد التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى وتولد مجال مغناطيسى حول موصل يمر به تيار كهربى،

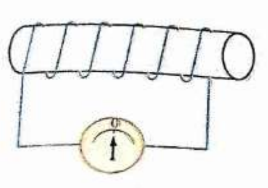
فهل يمكن لمجال مغناطيسى أن يولد فرق جهد بين طرفى موصل موضوع فى هذا المجال ليسرى تيارًا كهربيًا فى الموصل عند توصيله فى دائرة مغلقة ؟

نعم، وهذا ما أثبته العالم فاراداى من خلال دراسة التأثير الناتج عن تغير المجال المغناطيسى المقطوع بواسطة موصل مع الزمن وأطلق على هذه الظاهرة **الحث الكهرومغناطيسى**.

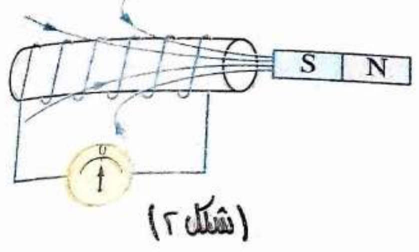
تجربة فاراداى لتوضيح الحث الكهرومغناطيسى

الغرض من التجربة : الحصول على قوة دافعة كهربية مستحثة فى ملف.

الخطوات والملاحظات :


(شكل ١)

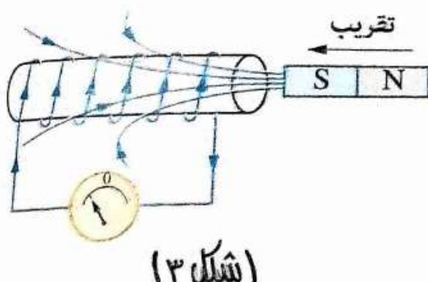
١ قم بإعداد ملف من سلك من النحاس لفاته معزولة عن بعضها البعض، ووصل طرفى الملف بجلفانومتر حساس صفر تدريجه فى المنتصف (شكل ١).



(شكل ٢)

٢ ثبت مغناطيس بالقرب من الملف.

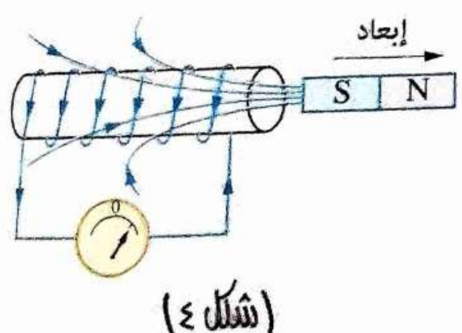
الملاحظة : لا ينحرف مؤشر الجلفانومتر (شكل ٢).



(شكل ٣)

٣ قرب المغناطيس من الملف.

الملاحظة : ينحرف مؤشر الجلفانومتر لحظيًا فى اتجاه معين (شكل ٣).

(شكل ٤)

٤ ابعد المغناطيس عن الملف.

الملاحظة : ينحرف المؤشر لحظيًا فى الاتجاه المضاد (شكل ٤).

٥ ثبت المغناطيس وحرك الملف نحو المغناطيس أو بعيدًا عنه.

الملاحظة : نلاحظ نفس الملاحظات السابقة فى ٣ ، ٤ .

٦ قم بزيادة سرعة أحدهما بالنسبة للآخر سواء فى حالة التقريب أو الإبعاد.

الملاحظة : يزداد انحراف مؤشر الجلفانومتر.

الاستنتاج :

- الحركة النسبية بين مغناطيس وملف متصل بدائرة مغلقة تؤدى إلى تولد قوة دافعة كهربية مستحثة (تأثيرية) وكذلك تيار كهربى مستحث (تأثيرى) فى الملف نتيجة قطعه لفيض مغناطيسى متغير.
- يتوقف اتجاه التيار المستحث (التأثيرى) فى الملف فى تجربة فاراداى على :
(١) اتجاه الحركة النسبية بين الملف والمغناطيس.
(٢) اتجاه المجال المغناطيسى للمغناطيس بالنسبة للملف.

* مما سبق يمكن تعريف الحث الكهرومغناطيسى كالتالى :

الحث الكهرومغناطيسى

ظاهرة تولد قوة دافعة كهربية مستحثة وكذلك تيار كهربى مستحث فى موصل فى دائرة مغلقة نتيجة تغير الفيض المغناطيسى الذى يقطع الموصل.

* يمكن تحديد :

١ اتجاه التيار المستحث فى ملف عند تغير الفيض المغناطيسى الذى يقطعه الملف باستخدام قاعدة لنز.

٢ قيمة القوة الدافعة الكهربية المستحثة المتوسطة فى ملف عند تغير الفيض المغناطيسى الذى يقطعه الملف باستخدام قانون فاراداى.

قاعدة لنز

نص القاعدة

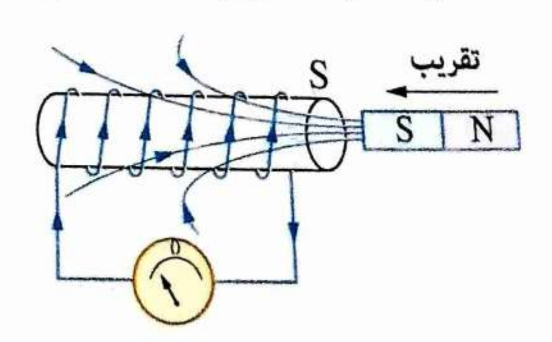
اتجاه التيار الكهربى المستحث يعاكس التغير فى الفيض المغناطيسى المسبب له.

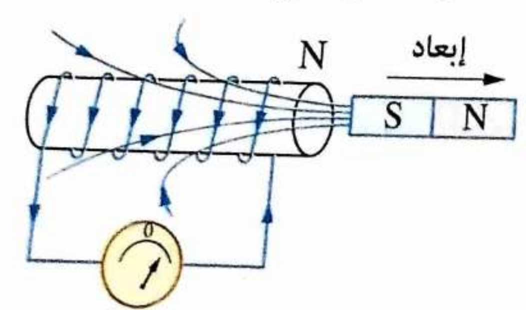
التفسير

عند تقريب القطب الجنوبى لمغناطيس من ملف	عند إبعاد القطب الجنوبى لمغناطيس عن ملف
- يتولد فى الملف emf مستحثة وعند غلق دائرته يمر به تيار مستحث. - يتولد عن هذا التيار مجال مغناطيسى فى الملف يقاوم الزيادة فى الفيض المغناطيسى المؤثر.	- يتولد فى الملف emf مستحثة وعند غلق دائرته يمر به تيار مستحث. - يتولد عن هذا التيار مجال مغناطيسى فى الملف يقاوم النقص فى الفيض المغناطيسى المؤثر.

فيتكون عند طرف الملف القريب من المغناطيس

قطب مشابه للقطب المقترب (قطب جنوبى) وتعمل قوة التنافر بين القطبين المتشابهين على مقاومة حركة تقريب هذا القطب	قطب مخالف للقطب المبتعد (قطب شمالى) وتعمل قوة التجاذب بين القطبين المختلفين على مقاومة حركة إبعاد هذا القطب





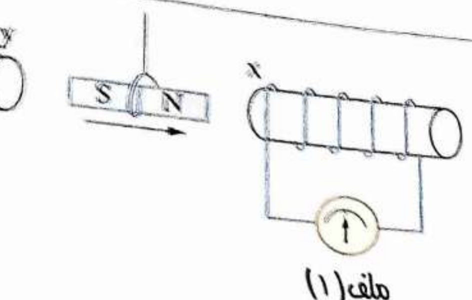
ملاحظة

* عند تقريب أو إبعاد مغناطيس عن ملف متصل بدائرة كهربية مغلقة يتولد تيار كهربي مستحث في الملف، ويصبح لدينا مجالان مغناطيسيان :

هما
- (١) مجال مغناطيسي خارجي متغير يولد قوة دافعة كهربية مستحثة وتيار كهربي مستحث في الملف.
- (٢) مجال مغناطيسي ينشأ عن التيار المستحث المار في الملف.



مثال



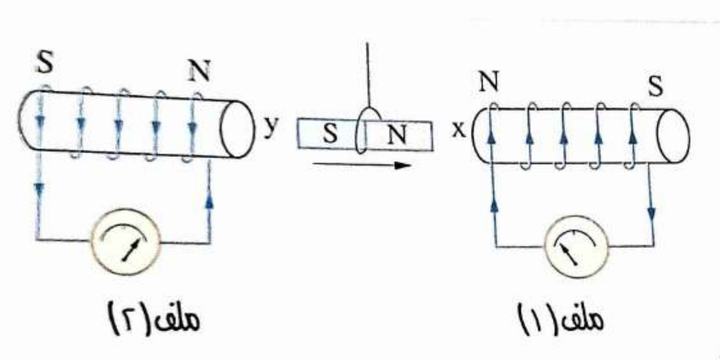
الشكل المقابل يوضح ملفين يتصل كل منهما بجلفانومتر ذو ملف متحرك صفر تدريجه في المنتصف وموضوع بينهما مغناطيس، إذا تحرك المغناطيس في الاتجاه الموضح بالرسم :

(أ) حدد على الرسم اتجاه التيار المستحث المتولد في الملفين.

(ب) حدد نوع الأقطاب المغناطيسية المتكونة عند الطرفين x ، y

الحل

(أ)



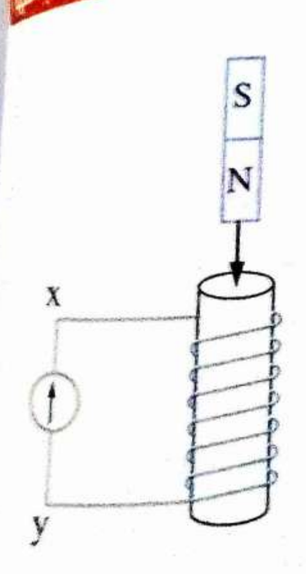
(ب) عند الطرف x يتكون **قطب شمالي**، عند الطرف y يتكون **قطب شمالي**.

24 اختبر نفسك

مجاب عنه

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

سقط قضيب مغناطيسي رأسيًا إلى أسفل خلال ملف لولبي كما بالشكل، فإن اتجاه التيار المار خلال الجلفانومتر أثناء اقتراب وابتعاد المغناطيس عن الملف هو ....



	أثناء الاقتراب	أثناء الابتعاد
(أ)	$x \rightarrow y$	$y \rightarrow x$
(ب)	$x \rightarrow y$	$x \rightarrow y$
(جـ)	$y \rightarrow x$	$x \rightarrow y$
(د)	$y \rightarrow x$	$y \rightarrow x$

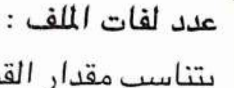
قانون فاراداى للحث الكهرومغناطيسى

* يتناسب مقدار القوة الدافعة الكهربية (emf) المستحثة فى موصل (مثلًا ملف) طرديًا مع :
- المعدل الزمنى الذى يقطع به الملف خطوط الفيض المغناطيسى (المعدل الزمنى للتغير فى الفيض المغناطيسى) : $emf \propto \frac{\Delta\phi_m}{\Delta t}$
- عدد لفات الملف الذى يقطع خطوط الفيض المغناطيسى : $emf \propto N$

$$\therefore emf = constant \times N \frac{\Delta\phi_m}{\Delta t}$$

* عند استخدام وحدات النظام الدولى تصبح قيمة ثابت التناسب مساوية للواحد الصحيح، فيكون

قانون فاراداى للحث الكهرومغناطيسى :



$$emf = -N \frac{\Delta\phi_m}{\Delta t}$$

* لا تؤثر الإشارة السالبة فى قانون فاراداى على قيمة القوة الدافعة الكهربية المستحثة ولكن تدل على أن اتجاه القوة الدافعة المستحثة وكذلك اتجاه التيار المستحث يعاكس التغير فى الفيض المغناطيسى المسبب له تبعًا لقاعدة لنز.
* **مما سبق يمكن تعريف قانون فاراداى والوبر كالتالى :**

قانون فاراداى

القوة الدافعة الكهربية المستحثة فى ملف بالحث الكهرومغناطيسى تتناسب طرديًا مع المعدل الزمنى الذى يقطع به الملف خطوط الفيض المغناطيسى وكذلك مع عدد لفات الملف.

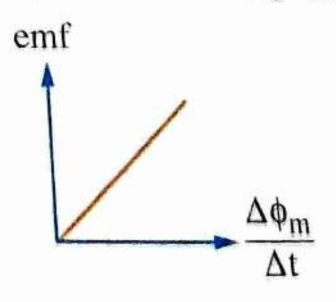
الوبر

الفيض المغناطيسى الذى يخترق عموديًا ملف يتكون من لفة واحدة وعندما يتلاشى تدريجيًا بانتظام خلال ثانية واحدة يتولد فى الملف قوة دافعة كهربية مستحثة مقدارها 1 فولت.

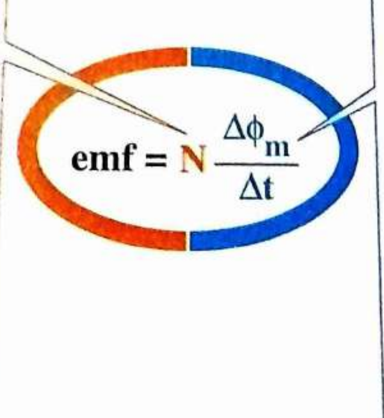
العوامل التى يتوقف عليها مقدار القوة الدافعة الكهربية المستحثة فى ملف

١ المعدل الزمنى الذى يقطع به الملف الفيض المغناطيسى :

يتناسب مقدار القوة الدافعة الكهربية المستحثة فى ملف **طرديًا** مع المعدل الزمنى الذى يقطع به الملف خطوط الفيض.

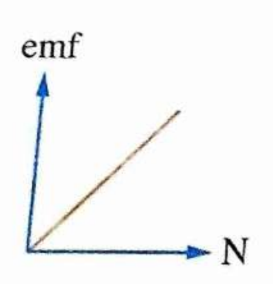


$$slope = \frac{\Delta(emf)}{\Delta\left(\frac{\Delta\phi_m}{\Delta t}\right)} = N$$



٢ عدد لفات الملف :

يتناسب مقدار القوة الدافعة الكهربية المستحثة فى ملف **طرديًا** مع عدد لفات الملف.



$$slope = \frac{\Delta(emf)}{\Delta N} = \frac{\Delta\phi_m}{\Delta t}$$

مما سبق نستنتج أن :

◄ يمكن توليد قوة دافعة كهربية مستحثة فى ملف يقطع خطوط مجال مغناطيسى عن طريق :

(١) تغيير مقدار أو اتجاه المجال المغناطيسى المؤثر.

(٢) تغيير مساحة الملف المعرضة للمجال المغناطيسى.

(٣) تغيير زاوية ميل المجال المغناطيسى على مستوى الملف.

◄ يمكن زيادة القوة الدافعة الكهربية المستحثة فى ملف عن طريق :

(١) زيادة عدد لفات الملف.

(٢) زيادة النفاذية المغناطيسية للوسط (مثلًا استخدام قلب من الحديد).

(٣) زيادة سرعة الحركة النسبية بين الملف والمغناطيس.

(٤) زيادة قوة المغناطيس المستخدم.

مثـال

ملف عدد لفاته 200 لفة يقطع فيض مغناطيسى قدره 7×10^{-3} Wb فإذا تغير هذا الفيض بانتظام ليصبح 5×10^{-3} Wb فى زمن قدره 0.1 s،

احسب القوة الدافعة الكهربية المستحثة فى الملف.

الحـــل

$N = 200$ | $(\phi_m)_1 = 7 \times 10^{-3}$ Wb | $(\phi_m)_2 = 5 \times 10^{-3}$ Wb

$\Delta t = 0.1$ s | **emf = ?**

$$\Delta\phi_m = (\phi_m)_2 - (\phi_m)_1 = (5 \times 10^{-3}) - (7 \times 10^{-3}) = -2 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

$$\text{emf} = -N \frac{\Delta\phi_m}{\Delta t}$$

$$= -200 \times \frac{-2 \times 10^{-3}}{0.1} = \mathbf{4\ V}$$

* بفرض أن الفيض المغناطيسى الذى يقطع الملف فى الوضع العمودى الابتدائى يساوى (+BA)، فإذا كان :

١

مستوى الملف فى الوضع الموازى لاتجاه المجال المغناطيسى	مستوى الملف فى الوضع العمودى على اتجاه المجال المغناطيسى

ثم أدير الملف 90° ($\frac{1}{4}$ دورة أو بزاوية $\frac{\pi}{2}$) فأصبح

عموديًا على الفيض — موازيًا للفيض





(أو نزع الملف من الفيض أو تلاشى الفيض)

فإن

$(\phi_m)_1 = BA \quad , \quad (\phi_m)_2 = 0$

$\Delta\phi_m = 0 - BA = -BA$

$emf = -N\frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} = -N\frac{(-BA)}{\Delta t}$

$= N\frac{BA}{\Delta t}$

$(\phi_m)_1 = 0 \quad , \quad (\phi_m)_2 = BA$

$\Delta\phi_m = BA - 0 = BA$

$emf = -N\frac{\Delta\phi_m}{\Delta t}$

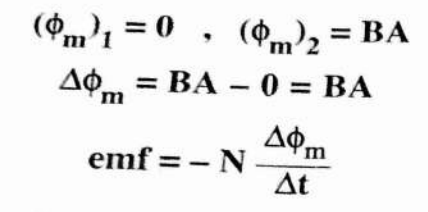
$= -N\frac{BA}{\Delta t}$

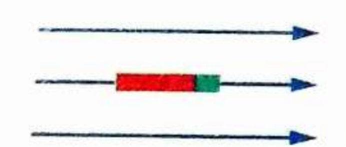
٢

مستوى الملف فى الوضع الموازى لاتجاه المجال المغناطيسى	مستوى الملف فى الوضع العمودى على اتجاه المجال المغناطيسى

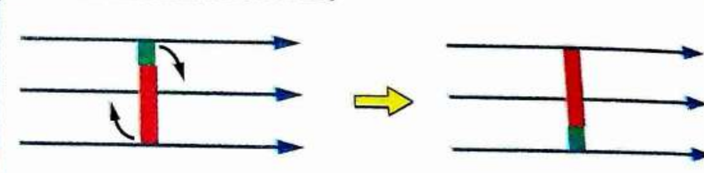
ثم أُدير الملف 180° ($\frac{1}{2}$ دورة أو بزاوية π)

أو قُلب الملف فى الفيض









أو عُكس اتجاه الفيض، فإن

$(\phi_m)_1 = BA \quad , \quad (\phi_m)_2 = -BA$

$\Delta\phi_m = -BA - BA = -2BA$

$emf = -N\frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} = -N\frac{(-2BA)}{\Delta t}$

$= N\frac{2BA}{\Delta t}$

$(\phi_m)_1 = (\phi_m)_2 = 0$

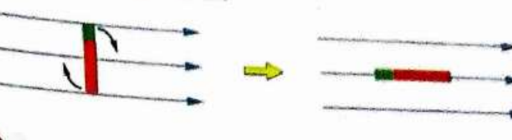
$\Delta\phi_m = 0$

$emf = 0$

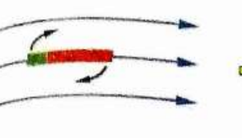
٣ مستوى الملف فى الوضع العمودى على اتجاه المجال المغناطيسى

مستوى الملف فى الوضع الموازى لاتجاه المجال المغناطيسى

ثم أدير الملف $270°$ ($\frac{3}{4}$ دورة أو بزاوية $\frac{3}{2}\pi$)







فإن

$$(\phi_m)_1 = BA \quad , \quad (\phi_m)_2 = 0$$

$$\Delta\phi_m = 0 - BA = -BA$$

$$(\phi_m)_1 = 0 \quad , \quad (\phi_m)_2 = -BA$$

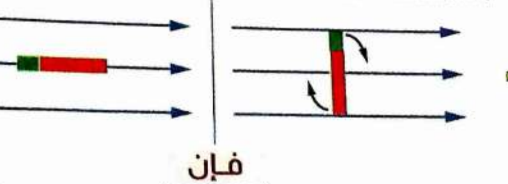
$$\Delta\phi_m = -BA - 0 = -BA$$

$$emf = -N\frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} = -N\frac{(-BA)}{\Delta t} = N\frac{BA}{\Delta t}$$

٤ مستوى الملف فى الوضع العمودى على اتجاه المجال المغناطيسى

مستوى الملف فى الوضع الموازى لاتجاه المجال المغناطيسى

ثم أُدير الملف $360°$ (دورة كاملة أو بزاوية 2π)





فإن

$$(\phi_m)_1 = (\phi_m)_2 = BA$$

$$\Delta\phi_m = BA - BA = 0$$

$$(\phi_m)_1 = (\phi_m)_2 = 0$$

$$\Delta\phi_m = 0$$

$$emf = 0$$

٥ **مستوى الملف عموديًا على اتجاه المجال المغناطيسى وتغيرت :**

– مساحة الملف التى تقطع خطوط المجال : $\Delta\phi_m = B\Delta A$

– كثافة الفيض المغناطيسى التى تقطع الملف : $\Delta\phi_m = A\Delta B$

مثال

ملف على شكل مربع طول ضلعه 10 cm يتكون من 500 لفة وضع عموديًا على مجال مغناطيسى منتظم كثافة فيضه 0.1 T، **احسب emf المستحثة فيه إذا :**

(أ) قُلب الملف خلال 0.05 s

(ب) دار الملف $\frac{1}{4}$ دورة خلال 0.025 s

(جـ) انعدم الفيض خلال 0.15 s

(د) زادت كثافة الفيض إلى 0.3 T خلال 0.75 s

الحل

$\ell = 10$ cm | $N = 500$ | $B = 0.1$ T | emf = ?

(أ) $$emf = -N\frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} = -N\frac{(-2BA)}{\Delta t} = \frac{-500\times(-2)\times 0.1\times 10^2\times 10^{-4}}{0.05} = 20\text{ V}$$

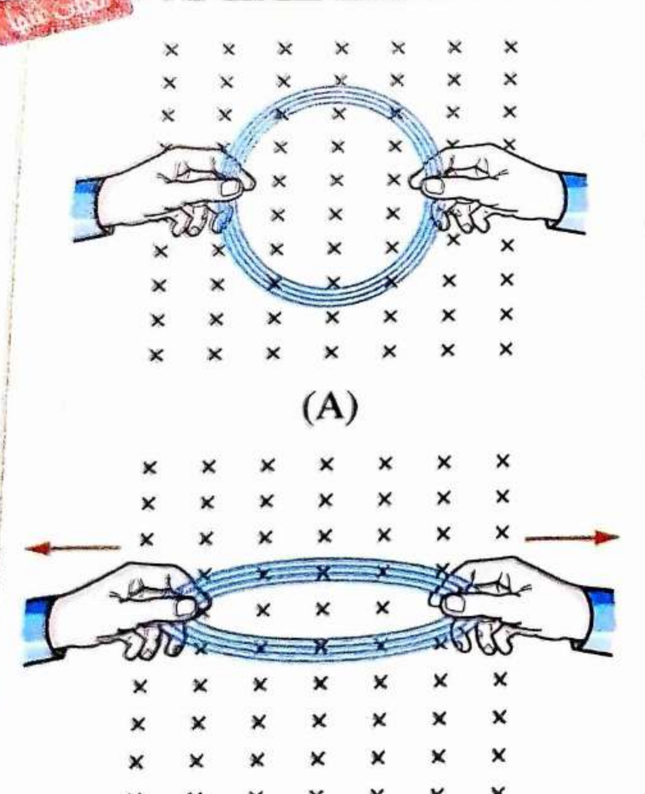
(ب) $$emf = -N\frac{(-BA)}{\Delta t} = \frac{-500\times(-0.1)\times 10^{-2}}{0.025} = 20\text{ V}$$

(جـ) $$emf = -N\frac{(-BA)}{\Delta t} = \frac{-500\times(-0.1)\times 10^{-2}}{0.15} = 3.33\text{ V}$$

(د) $$emf = -NA\frac{\Delta B}{\Delta t} = \frac{-500\times 10^{-2}\times(0.3-0.1)}{0.75} = -1.33\text{ V}$$

25 اختبر نفسك

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :



الشكل المقابل يبين ملف دائرى يتكون من 20 لفة مساحة وجهه 0.385 m^2 ومستواه عمودى على مجال مغناطيسى كثافة فيضه 0.2 T، فإذا تغير شكل الملف نتيجة شده فى اتجاهين متضادين من الشكل (A) إلى الشكل (B) لتقل مساحة وجهه إلى 0.077 m^2 خلال 1.4 s بحيث يظل مستوى الملف عمودى على الفيض، تتولد فى الملف قوة دافعة كهربية مستحثة مقدارها ....

(أ) 0.22 V

(ب) 0.44 V

(جـ) 0.88 V

(د) 1.1 V

3

التيارات الدوامية Eddy Currents

المفهوم

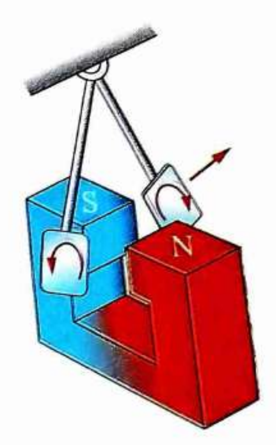
التيارات الدوامية هى تيارات كهربية مستحثة تسرى فى مسارات مغلقة فى قطعة معدنية نتيجة تعرضها لمجال مغناطيسى متغير أو تحريكه بالنسبة لمجال مغناطيسى منتظم ويكون اتجاه التيارات الدوامية فى القطعة المعدنية بحيث ينتج عنه مجال مغناطيسى يعاكس التغير المسبب للتيار، ويكون المستوى الذى تسرى فيه التيارات الدوامية عمودى على اتجاه الفيض المغناطيسى الذى سببها.

شرح الفكرة العلمية

إذا تم تغيير عدد خطوط الفيض المغناطيسى التى تخترق قطعة معدنية، تتولد فيها تيارات مستحثة تسمى التيارات الدوامية، تسبب ارتفاع درجة حرارة القطعة المعدنية.

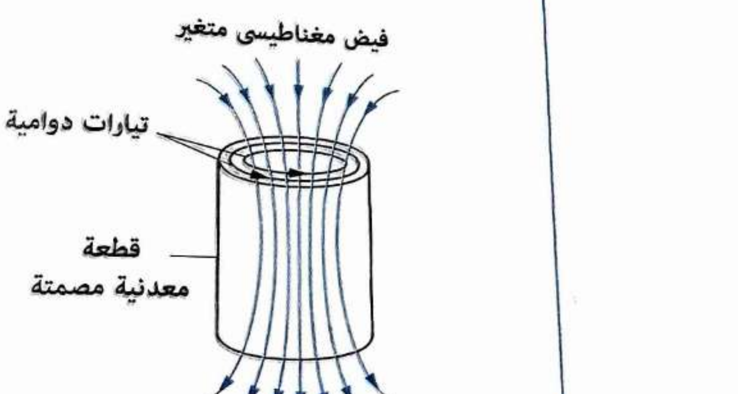
شروط حدوثها

تحريك قطعة معدنية بالنسبة لمجال مغناطيسى منتظم كما فى المحرك الكهربى.



أو

تعريض قطعة معدنية لمجال مغناطيسى متغير كما فى المحول الكهربى وأفران الحث.



الاستخدام

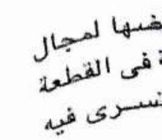
فى أفران الحث لصهر الفلزات (المعادن).

الأضرار

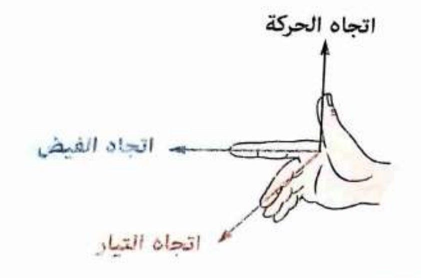
فقد جزء من الطاقة الكهربية على صورة طاقة حرارية.

التقليل من آثارها الضارة فى الأجهزة الكهربية

يلف الملف على قلب من الحديد المطاوع السيليكونى المصنوع على شكل شرائح رقيقة متوازية (كما فى المحول الكهربى) أو أقراص رقيقة (كما فى حالة المحرك الكهربى) ومعزولة عن بعضها، لزيادة مقاومة القلب الحديدى مما يقلل من التيارات الدوامية، فتقل الطاقة الكهربية المستهلكة على صورة طاقة حرارية.



القوة الدافعة الكهربية المستحثة فى سلك مستقيم



* عند تحريك سلك مستقيم فى مجال مغناطيسى بحيث يكون اتجاه السرعة (الحركة) عمودى على اتجاه المجال بحيث يقطع السلك خطوط الفيض المغناطيسى، **فإن ذلك** يؤثر على الإلكترونات الحرة فى السلك المتحرك فتندفع من أحد طرفيه إلى الطرف الآخر وينشأ فرق فى الجهد بين طرفى السلك وبذلك تتولد emf مستحثة بين طرفيه، وإذا كان السلك فى دائرة كهربية مغلقة يمر تيار كهربى مستحث بالدائرة.
* يمكن تحديد اتجاه التيار الكهربى المستحث فى السلك باستخدام **قاعدة اليد اليمنى لفلمنج.**

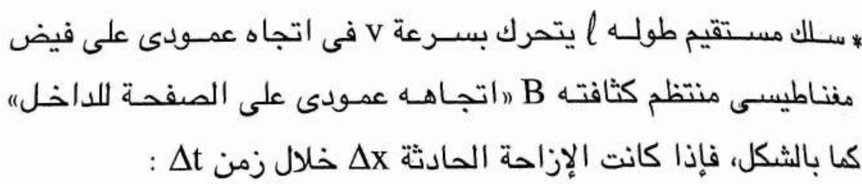
قاعدة اليد اليمنى لفلمنج

الاستخدام

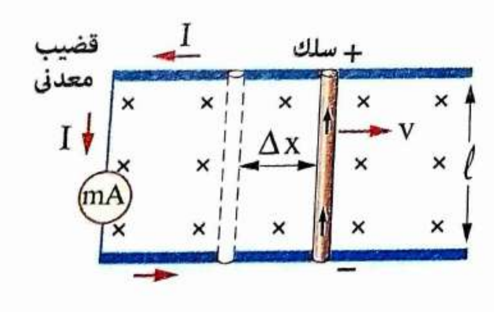
تحديد اتجاه التيار الكهربى المستحث فى سلك مستقيم يتحرك عموديًا على فيض مغناطيسى.

نص القاعدة (طريقة الاستخدام)

اجعل أصابع اليد اليمنى متعامدة بحيث يشير الإبهام لاتجاه حركة السلك، والسبابة يشير لاتجاه الفيض المغناطيسى وعندئذ تشير باقى الأصابع لاتجاه التيار الكهربى المستحث.



استنتاج الصيغة الرياضية لحساب emf المستحثة فى سلك مستقيم



* سلك مستقيم طوله ℓ يتحرك بسرعة v فى اتجاه عمودى على فيض مغناطيسى منتظم كثافته B «اتجاهه عمودى على الصفحة للداخل» كما بالشكل، فإذا كانت الإزاحة الحادثة Δx خلال زمن Δt :

$$\therefore emf = -\frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} = -\frac{B\Delta A}{\Delta t} = -\frac{B\ell\Delta x}{\Delta t}$$

$$\because \frac{\Delta x}{\Delta t} = v$$

$$\therefore emf = -B\ell v$$

(الإشارة السالبة وفقًا لقاعدة لنز).

وإذا كان اتجاه حركة السلك (سرعته) يصنع زاوية θ مع اتجاه المجال المغناطيسى، فإن :

$$emf = -B\ell v \sin\theta$$

وبالتالى إذا كان السلك يتحرك موازيًا للمجال المغناطيسى، فإن :

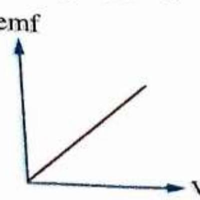
$$emf = -B\ell v \sin 0 = 0$$

أى لا تتولد emf مستحثة.

العوامل التى يتوقف عليها مقدار emf المستحثة فى سلك مستقيم يقطع فيض مغناطيسى

١ السرعة التى يتحرك بها السلك :

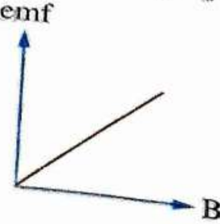
يتناسب مقدار القوة الدافعة الكهربية المستحثة فى سلك تناسبًا طرديًا مع السرعة التى يتحرك بها السلك.



$$\text{slope} = \frac{\Delta(\text{emf})}{\Delta v} = B\ell \sin\theta$$

٢ كثافة الفيض المغناطيسى :

يتناسب مقدار القوة الدافعة الكهربية المستحثة فى سلك تناسبًا طرديًا مع كثافة الفيض المغناطيسى.



$$\text{slope} = \frac{\Delta(\text{emf})}{\Delta B} = \ell v \sin\theta$$

$$\text{emf} = B\ell v \sin\theta$$

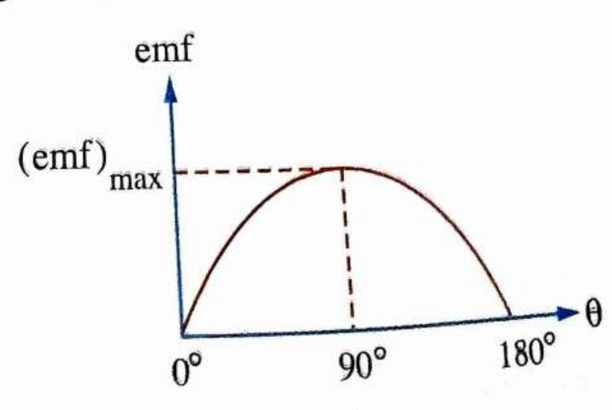
٣ الزاوية بين اتجاه سرعة السلك واتجاه الفيض المغناطيسى :

يتناسب مقدار القوة الدافعة الكهربية المستحثة فى سلك تناسبًا طرديًا مع جيب الزاوية بين اتجاه سرعة السلك واتجاه الفيض المغناطيسى.

$$\text{slope} = \frac{\Delta(\text{emf})}{\Delta \sin\theta} = B\ell v$$

أو

تمثل العلاقة بين مقدار القوة الدافعة الكهربية المستحثة والزاوية بين اتجاه سرعة السلك واتجاه الفيض المغناطيسى **بمنحنى جيبى.**



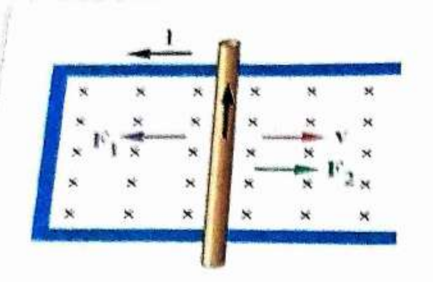
٤ طول السلك :

يتناسب مقدار القوة الدافعة الكهربية المستحثة فى سلك تناسبًا طرديًا مع طول السلك.

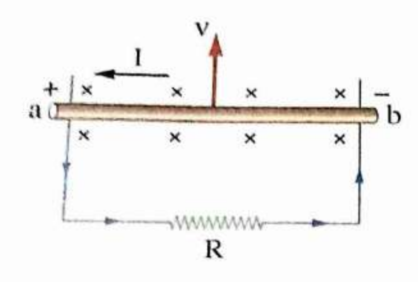
$$\text{slope} = \frac{\Delta(\text{emf})}{\Delta \ell} = Bv \sin\theta$$

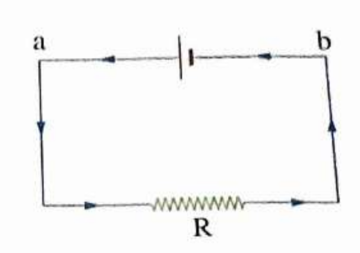
ملاحظات

* عند تحريك سلك بسرعة منتظمة (v) عموديًا على مجال مغناطيسي منتظم تتولد بين طرفي السلك emf مستحثة ينشأ عنها تيار كهربي مستحث في السلك فتنشأ قوة مغناطيسية (F_1) عمودية على كل من التيار المستحث والمجال الخارجي، وللحفاظ على حركة السلك بسرعة منتظمة ينبغي أن يتساوى مقدار القوة المؤثرة (المحركة) على السلك (F_2) مع مقدار القوة المغناطيسية التي تنشأ عن التيار (F_1).

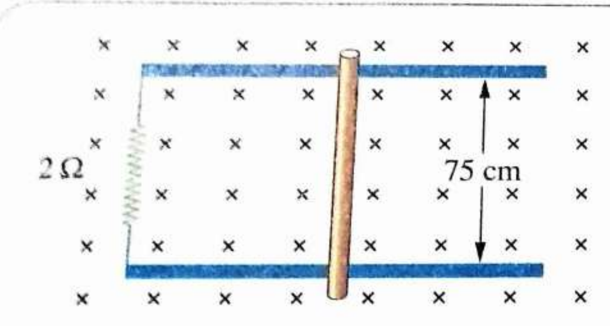


* عندما يتحرك موصل في دائرة مغلقة بحيث يقطع خطوط مجال مغناطيسي يتولد بين طرفي الموصل قوة دافعة كهربية مستحثة أي يعمل الموصل كمصدر للتيار المار في الدائرة فيكون جهد النقطة a أكبر من جهد النقطة b





مثال (١)



الشكل المقابل يمثل دائرة كهربية تتكون من سلكين سميكين متوازيين المسافة بينهما 75 cm ومقاومة مقدارها 2 Ω وضع قضيب معدني عموديًا على السلكين المتوازيين بحيث يغلق هذه الدائرة، فإذا كانت المساحة المحصورة بين السلكين عمودية على فيض مغناطيسي كثافته 0.18 T،

احسب قيمة القوة اللازمة لتحريك القضيب المعدني بسرعة ثابتة مقدارها 1 m/s

الحل

$\ell = 75 \times 10^{-2}$ m | R = 2 Ω | B = 0.18 T | v = 1 m/s | **F = ?**

$$emf = -B\ell v = -0.18 \times 75 \times 10^{-2} \times 1 = -0.135 \text{ V}$$

$$I = \frac{emf}{R} = \frac{0.135}{2} = 0.0675 \text{ A}$$

$$F = BI\ell = 0.18 \times 0.0675 \times 75 \times 10^{-2} = \mathbf{9.11 \times 10^{-3} \text{ N}}$$

مثال (٢)

فى الشكل المقابل قضيب معدنى ab طوله 25 cm ومقاومته مهملة ويتحرك عموديًا على مجال مغناطيسى كثافة فيضه 1T بسرعة 2 m/s، **احسب** شدة التيار المار فى كل من المقاومتين R_1 ، R_2 والقضيب ab

الحل

$l = 25 \times 10^{-2}$ m | v = 2 m/s | B = 1 T | $R_1 = 1\,\Omega$ | $R_2 = 2\,\Omega$

$I_1 = ?$ | $I_2 = ?$ | $I = ?$

يعمل السلك ab كمصدر لفرق الجهد ويمكن تمثيل الدائرة الكهربية كما بالشكل المقابل :

$$emf = -B\ell v = -1 \times 25 \times 10^{-2} \times 2 = -0.5\ V$$

$$I_1 = \frac{emf}{R_1} = \frac{0.5}{1} = \mathbf{0.5\ A}$$

$$I_2 = \frac{emf}{R_2} = \frac{0.5}{2} = \mathbf{0.25\ A}$$

$$I = I_1 + I_2 = 0.5 + 0.25 = \mathbf{0.75\ A}$$



26 اختبر نفسك

مجاب عنها

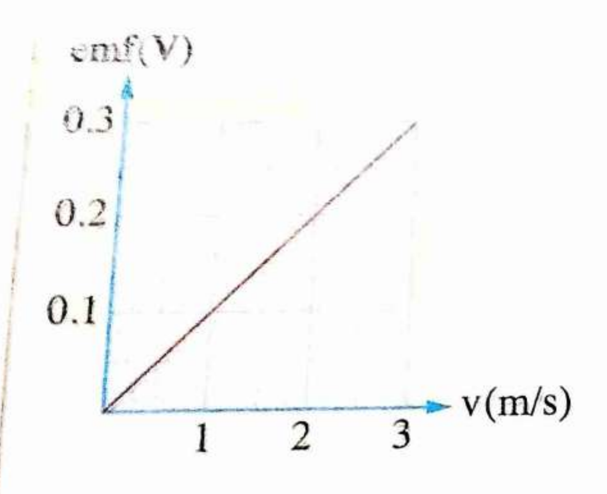
اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

١ سلك مستقيم عمودى على الصفحة يتأثر بمجال مغناطيسى فى مستوى الصفحة كما بالشكل المقابل، فى أى اتجاه يتحرك السلك ليصبح طرفه العلوى موجبًا ؟

(أ) فى الاتجاه (1)
(ب) فى الاتجاه (2)
(ج) فى الاتجاه (3)
(د) فى الاتجاه (4)

---

٢ سلك مستقيم طوله 1 m يتحرك عدة مرات عموديًا على مجال مغناطيسى منتظم كثافته B بسرعة منتظمة (v) مختلفة فى كل مرة والشكل البيانى المقابل يمثل العلاقة بين القوة الدافعة الكهربية المستحثة فى السلك وسرعته المنتظمة v ، فإن مقدار B يساوى ....



(أ) 0.1 T
(ب) 0.2 T
(ج) 1 T
(د) 2 T



فى هذا الدرس سوف نتعرف :

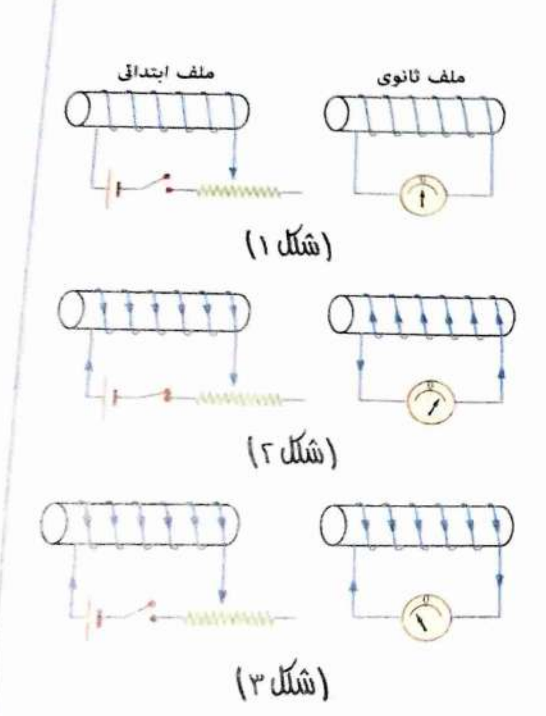
- الحث المتبادل بين ملفين.
- الحث الذاتى لملف.

الحث المتبادل بين ملفين Mutual Induction

• إذا وضع ملفين أحدهما داخل الآخر أو أحدهما بالقرب من الآخر فإن تغير شدة التيار الكهربى فى أحد الملفين يولد قوة دافعة كهربية مستحثة فى الملف الآخر ويطلق على هذه الظاهرة الحث المتبادل بين ملفين، ويمكن التحقق منها عمليًا من خلال إجراء التجربة التالية :

تجربة لدراسة الحث المتبادل بين ملفين

• الخطوات والملاحظات :



(شكل ١)
(شكل ٢)
(شكل ٣)

١ وصل ملف ببطارية ومفتاح وريوستات (الملف الابتدائى) ووصل ملف آخر بجلفانومتر حساس صفر تدريجه فى المنتصف (الملف الثانوى) (شكل ١).

٢ اغلق دائرة الملف الابتدائى أثناء وجود الملف الابتدائى داخل أو بالقرب من الملف الثانوى.

الملاحظة : ينحرف مؤشر الجلفانومتر لحظيًا فى اتجاه معين (شكل ٢).

٣ افتح دائرة الملف الابتدائى أثناء وجود الملف الابتدائى داخل أو بالقرب من الملف الثانوى.

الملاحظة : ينحرف مؤشر الجلفانومتر لحظيًا فى الاتجاه المضاد للاتجاه الأول (شكل ٣).

٤ اغلق دائرة الملف الابتدائى ثم قم بزيادة شدة التيار الكهربى المار فيه عن طريق إنقاص مقاومة الريوستات.

الملاحظة : ينحرف مؤشر الجلفانومتر فى اتجاه معين.

٥ اغلق دائرة الملف الابتدائى ثم قم بإنقاص شدة التيار المار فى الملف الابتدائى عن طريق زيادة مقاومة الريوستات.

الملاحظة : ينحرف مؤشر الجلفانومتر فى الاتجاه المضاد.

٦ اغلق دائرة الملف الابتدائى ثم ابعد الملف الابتدائى عن الملف الثانوى.

الملاحظة : ينحرف مؤشر الجلفانومتر فى اتجاه معين.

٧ اغلق دائرة الملف الابتدائى ثم قرب الملف الابتدائى من الملف الثانوى.

الملاحظة : ينحرف مؤشر الجلفانومتر فى الاتجاه المضاد.

20 : 44

الاستنتاج: يمكن توليد قوة دافعة كهربية مستحثة وكذلك تيار مستحث فى ملف ثانوى بتأثير ملف آخر ابتدائى، حيث تتولد

قوة دافعة كهربية مستحثة طردية وتيار مستحث طردى	قوة دافعة كهربية مستحثة عكسية وتيار مستحث عكسى
– عند **تناقص** شدة المجال المغناطيسى الناشئ عن الملف الابتدائى فإن المجال المغناطيسى المستحث فى الملف الثانوى والناشئ عن التيار الكهربى المستحث المتولد فى الملف الثانوى يكون **فى نفس الاتجاه** ليقاوم النقص فى شدة المجال المغناطيسى المؤثر.	– عند **زيادة** شدة المجال المغناطيسى الناشئ عن الملف الابتدائى فإن المجال المغناطيسى المستحث فى الملف الثانوى والناشئ عن التيار الكهربى المستحث المتولد فى الملف الثانوى يكون فى **اتجاه مضاد** ليقاوم الزيادة فى شدة المجال المغناطيسى المؤثر.

حالات تولد emf مستحثة

طردية	عكسية
– لحظة فتح دائرة الملف الابتدائى أثناء وجوده داخل (أو قرب) الملف الثانوى.	– لحظة غلق دائرة الملف الابتدائى أثناء وجوده داخل (أو قرب) الملف الثانوى.
– أثناء إنقاص شدة التيار فى الملف الابتدائى عند وجوده داخل (أو قرب) الملف الثانوى.	– أثناء زيادة شدة التيار فى الملف الابتدائى عند وجوده داخل (أو قرب) الملف الثانوى.
– أثناء إبعاد أو إخراج الملف الابتدائى من الملف الثانوى.	– أثناء تقريب أو إدخال الملف الابتدائى فى الملف الثانوى.

* مما سبق يمكن تعريف الحث المتبادل بين ملفين كالتالى :

الحث المتبادل بين ملفين

التأثير الكهرومغناطيسى الحادث بين ملفين متجاورين أو متداخلين يمر بأحدهما تيار متغير فيتأثر به الملف الثانى ويتولد فيه تيار مستحث يقاوم التغير الحادث فى الملف الأول.

حساب معامل الحث المتبادل بين ملفين

* عند تغير شدة التيار فى الملف الابتدائى بمعدل زمنى $\frac{\Delta I_1}{\Delta t}$ يتولد فى الملف الثانوى $(emf)_2$ مستحثة تتناسب طرديًا مع معدل التغير فى الفيض المغناطيسى المار به :

$$(emf)_2 \propto \frac{(\Delta\phi_m)_2}{\Delta t}$$

$$\because \frac{(\Delta\phi_m)_2}{\Delta t} \propto \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

$$\therefore (emf)_2 \propto \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

$$\therefore (emf)_2 = constant \times \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

$$\therefore (emf)_2 = -M \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

حيث (M) معامل الحث المتبادل بين ملفين.

(تدل الإشارة السالبة على أن القوة الدافعة المستحثة تعاكس التغير المسبب لها «قاعدة لنز»)

$$\therefore \quad M = \frac{(emf)_2}{\Delta I_1 / \Delta t}$$

وحدة قياس معامل الحث المتبادل هى: الهنرى (H) وتكافئ فولت. ثانية/أمبير (V.s/A)

• مما سبق يمكن تعريف كل من معامل الحث المتبادل بين ملفين والهنرى كالتالى :

معامل الحث المتبادل بين ملفين (M)

مقدار القوة الدافعة الكهربية المستحثة المتولدة فى أحد الملفين عند تغير شدة تيار الملف الآخر بمعدل 1 أمبير كل ثانية.

الهنرى

معامل الحث المتبادل بين ملفين إذا تغيرت شدة تيار أحدهما بمعدل 1 أمبير كل ثانية فيتولد بالحث بين طرفى الملف الآخر emf مستحثة مقدارها 1 فولت.

• العوامل التى يتوقف عليها معامل الحث المتبادل بين ملفين :

هى:

1. معامل النفاذية المغناطيسية للوسط المتواجد به الملفين
2. حجم الملفين (طول الملف، مساحة اللفة)
3. عدد لفات الملفين
4. المسافة الفاصلة بين الملفين

مثال

ملفان متجاوران x ، y معامل الحث المتبادل بينهما 0.2 H وشدة التيار المار فى الملف x تساوى 4 A. فإذا انعدمت شدة التيار فى هذا الملف فى زمن قدره 0.01 s. **احسب** متوسط القوة الدافعة الكهربية المستحثة المتولدة فى الملف y

الحل

$M = 0.2\ H$ | $(I_x)_1 = 4\ A$ | $(I_x)_2 = 0$ | $\Delta t = 0.01\ s$ | $(emf)_y = ?$

$$(emf)_y = -M \frac{\Delta I_x}{\Delta t} = -0.2 \times \frac{0-4}{0.01} = 80\ V$$

إرشاد

• عند تغيير شـدة تيار الملف الابتدائي بمقدار (ΔI_1) خلال فترة زمنية (Δt) يتغير الفيض المغناطيسـي الذي يقطع الملف الثانوي بمقدار $(\Delta\phi_m)_2$ خلال نفس تلك الفترة الزمنية (Δt) ويمكن تعيين معامل الحث المتبادل بين هذين الملفين في حالة عدم تحديد زمن التغير كالتالي :

$$\because (emf)_2 = -N_2 \frac{(\Delta\phi_m)_2}{\Delta t} = -M \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

$$\therefore M\Delta I_1 = N_2(\Delta\phi_m)_2$$

مثال

ملفان متجاوران X ، Y عدد لفات الملف Y هو 1500 لفة، فإذا تم غلق دائرة الملف X ليمر تيار شـدته 5 A فيها فنتج عنه فيض 3×10^{-3} Wb في الملف Y، **احسب** معامل الحث المتبادل بين الملفين.

الحـــل

$N_Y = 1500$ | $\Delta I_X = 5$ A | $(\Delta\phi_m)_Y = 3 \times 10^{-3}$ Wb | $M = ?$

$$M\Delta I_X = N_Y(\Delta\phi_m)_Y$$

$$M \times 5 = 1500 \times 3 \times 10^{-3}$$

$$M = 0.9 \text{ H}$$

معلومـــة إثرائية

• **لإيجاد معامل الحث المتبادل بين ملفين :**

بتطبيق قانون فاراداي على الملف الثانوى :

$$(emf)_2 = -N_2 \frac{\Delta(\phi_m)_2}{\Delta t} \quad (1)$$

من معادلة الحث المتبادل بين ملفين :

$$(emf)_2 = -M \frac{\Delta I_1}{\Delta t} \quad (2)$$

بمساواة المعادلتين :

نجد أن :

$$-M \frac{\Delta I_1}{\Delta t} = -N_2 \frac{\Delta(\phi_m)_2}{\Delta t}$$

$$M\Delta I_1 = N_2\,\Delta(\phi_m)_2 \quad (3)$$

حيث $\Delta(\phi_m)_2$ التغير في الفيض المغناطيسي الذي يقطع الملف الثانوى

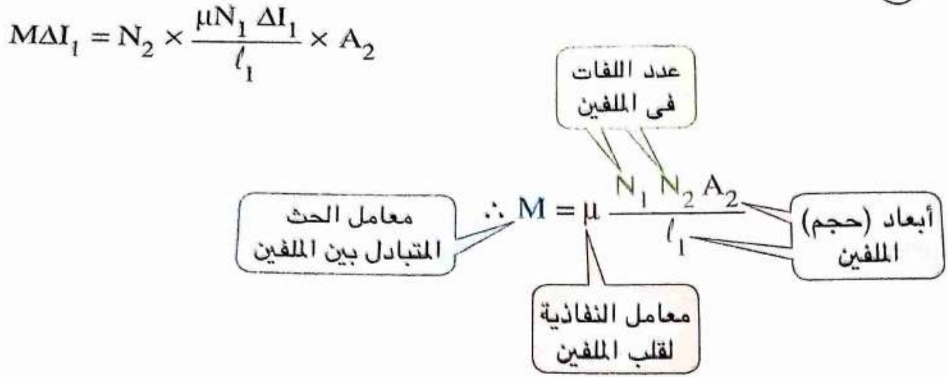
فى حالة لف الملف الثانوى حول الجزء الأوسط من الملف الابتدائى، فإن الفيض المغناطيسى الناتج من الملف الابتدائى يقطع دون فقد لفات الملف الثانوى.

$$\therefore \Delta(\phi_m)_2 = A_2 \, \Delta B_1$$

$$= \mu \frac{N_1 \, \Delta I_1}{l_1} \times A_2$$

بالتعويض فى المعادلة (3) :

$$M\Delta I_1 = N_2 \times \frac{\mu N_1 \, \Delta I_1}{l_1} \times A_2$$



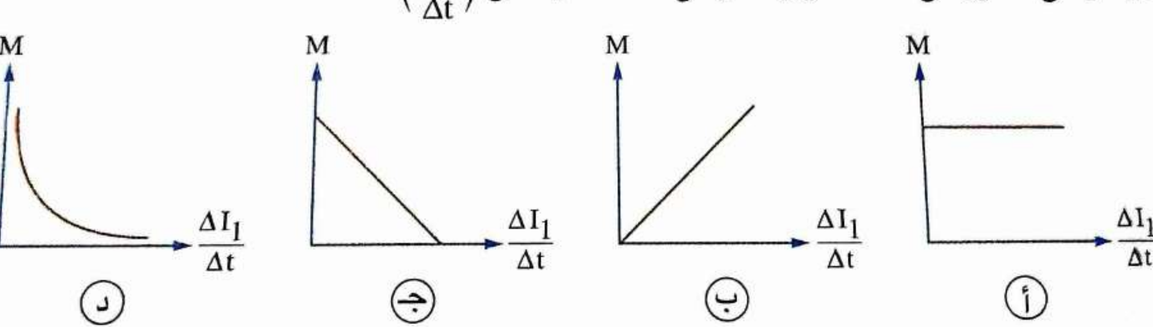
لاحظ أن :

زيادة المسافة الفاصلة بين الملفين تؤدى إلى تقليل الفيض المقطوع بواسطة الملف الثانوى والناشئ عن مرور تيار فى الملف الابتدائى، وبالتالى تقليل معامل الحث المتبادل بين الملفين.

27 اختبر نفسك

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

أى من الأشكال البيانية التالية يمثل العلاقة بين معامل الحث المتبادل (M) بين ملفين لولبيين متجاورين والمعدل الزمنى للتغير فى شدة التيار المار فى الملف الابتدائى $\left(\frac{\Delta I_1}{\Delta t}\right)$ ؟



الحث الذاتى لملف Self Induction

* إذا وصل ملف فى دائرة كهربية فإن تغير شدة التيار الكهربى فى هذا الملف يسبب تولد قوة دافعة مستحثة فيه تقاوم هذا التغير ويطلق على هذه الظاهرة الحث الذاتى لملف.

ويمكن التحقق منها من خلال إجراء التجربة التالية :

تجربة لدراسة الحث الذاتى لملف

الخطوات والملاحظات :

١ وصل طرفى ملف مغناطيس كهربى قوى (عدد لفاته كبير) مع بطارية (6 V) ومفتاح متصلين على التوازى مع مصباح نيون (يعمل بجهد يصل إلى 180 V).

٢ اغلق الدائرة ليمر تيار كهربى فى الملف.

الملاحظة : عدم توهج مصباح النيون.

التفسير : لأن نمو التيار يؤدى لتولد قوة دافعة مستحثة عكسية بين طرفى الملف فيكون فرق الجهد بين طرفى المصباح أقل من فرق الجهد اللازم لتشغيله.

٣ افتح الدائرة.

الملاحظة : مرور شرر كهربى بين طرفى المفتاح وتوهج مصباح النيون لفترة صغيرة جدًا.

التفسير : لأن اضمحلال التيار يؤدى إلى تولد emf مستحثة طردية كبيرة نسبيًا بين طرفى الملف بالحث الذاتى نظرًا لكبر عدد لفات الملف ($emf \propto N$) وكبر المعدل الزمنى للتغير فى شدة التيار ($emf \propto \frac{\Delta I}{\Delta t}$) فينشأ تيار مستحث طردى فى نفس اتجاه التيار الأصلى يمر على شكل شرر كهربى بين طرفى المفتاح.

* **مما سبق يمكن تعريف الحث الذاتى لملف كالتالى :**

الحث الذاتى لملف

التأثير الكهرومغناطيسى الحادث فى نفس الملف عند تغير شدة التيار المار فيه بحيث يقاوم هذا التغير.

حساب معامل الحث الذاتى لملف

* **عند تغير شدة التيار المار فى ملف بمعدل $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ يتولد فى الملف بالحث الذاتى emf مستحثة تتناسب طرديًا مع المعدل الزمنى لتغير الفيض المغناطيسى :**

$$emf \propto \frac{\Delta \phi_m}{\Delta t}$$

∵ المعدل الزمنى للتغير فى الفيض يتناسب طرديًا مع المعدل الزمنى للتغير فى التيار :

$$\frac{\Delta \phi_m}{\Delta t} \propto \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$\therefore emf \propto \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$\therefore emf = constant \times \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$\therefore emf = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

حيث : (L) معامل الحث الذاتى للملف.

(تدل الإشارة السالبة على أن القوة الدافعة المستحثة تعاكس التغير المسبب لها «قاعدة لنز»).

$$\therefore L = \frac{emf}{\Delta I / \Delta t}$$

وحدة قياس معامل الحث الذاتى هى **الهنرى**

* مما سبق يمكن تعريف كل من معامل الحث الذاتى للملف والهنرى، كالتالى :

معامل الحث الذاتى لملف (L)

مقدار القوة الدافعة الكهربية المستحثة المتولدة بين طرفى الملف عندما تتغير شدة التيار فيه بمعدل 1 أمبير كل ثانية.

الهنرى

معامل الحث الذاتى لملف إذا تغيرت شدة التيار فيه بمعدل 1 أمبير كل ثانية فيتولد بين طرفيه بالحث emf مستحثة مقدارها 1 فولت.

* يمكن استنتاج معامل الحث الذاتى لملف لولبى كالتالى :

$$emf = -N\frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} \quad , \quad emf = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$\therefore L\Delta I = N\Delta\phi_m$$

$$\because \Delta\phi_m = \Delta BA = \mu\frac{NA\Delta I}{\ell}$$

$$\therefore L\Delta I = \mu\frac{N^2 A\Delta I}{\ell}$$

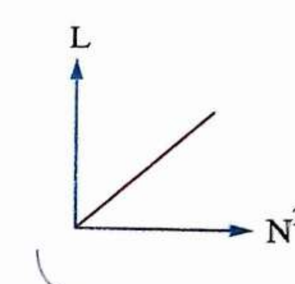
$$L = \frac{\mu A N^2}{\ell}$$

حيث : (μ) معامل النفاذية المغناطيسية للوسط، (A) مساحة وجه الملف، (N) عدد لفات الملف، (ℓ) طول الملف.

العوامل التى يتوقف عليها معامل الحث الذاتى لملف

1 عدد لفات الملف :

يتناسب معامل الحث الذاتى للملف تناسبًا **طرديًا** مع مربع عدد لفات الملف.



$$slope = \frac{\Delta L}{\Delta N^2} = \frac{\mu A}{\ell}$$

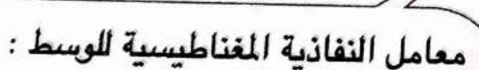
2 مساحة وجه الملف :

يتناسب معامل الحث الذاتى للملف تناسبًا طرديًا مع مساحة وجه الملف.

L — A

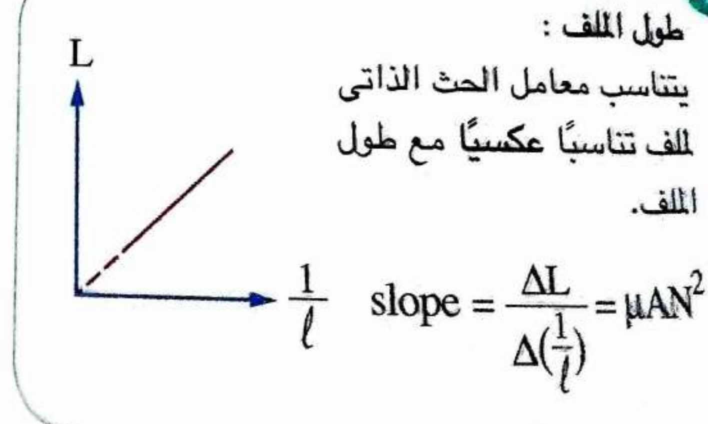
$$slope = \frac{\Delta L}{\Delta A} = \frac{\mu N^2}{\ell}$$

$$L = \mu\frac{AN^2}{\ell}$$



3 طول الملف :

يتناسب معامل الحث الذاتى للملف تناسبًا **عكسيًا** مع طول الملف.



$$slope = \frac{\Delta L}{\Delta(\frac{1}{\ell})} = \mu A N^2$$

4 معامل النفاذية المغناطيسية للوسط :

يتناسب معامل الحث الذاتى للملف تناسبًا **طرديًا** مع معامل النفاذية المغناطيسية للوسط.

(ثابت للوسط الواحد)

L — μ

$$slope = \frac{\Delta L}{\Delta\mu} = \frac{AN^2}{\ell}$$

ملاحظات

* فى تجربة الحث الذاتى تكون القوة الدافعة الكهربية المستحثة الطردية فى الملف أكبر دائمًا من القوة الدافعة الكهربية المستحثة العكسية المتولدة فيه.

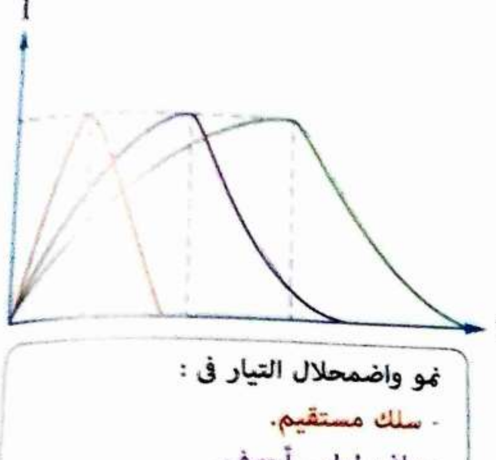
لأن معدل انهيار التيار الأصلى أكبر من معدل نمو التيار فى هذه الحالة.

* لا تصل شدة التيار الى القيمة العظمى فى الملف لحظة غلق الدائرة كما لا ينعدم التيار لحظة فتح الدائرة.

لتولد emf مستحثة عكسية لحظة الغلق تؤخر وصول التيار للقيمة العظمى وتولد emf مستحثة طردية لحظة فتح الدائرة تؤخر وصول التيار للصفر.

* أثر الحث الذاتى فى نمو واضمحلال التيار فى ملف الحث :

– **نمو التيار فى سلك مستقيم أسرع من نموه فى ملف أجوف أسرع من نموه فى ملف به قلب حديدى لحظة غلق الدائرة.**



نمو واضمحلال التيار فى :
- سلك مستقيم.
- ملف لولبى أجوف.
- ملف لولبى به قلب حديدى

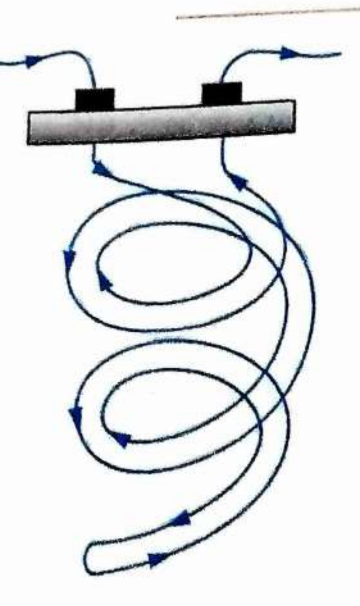
لأن السلك المستقيم لا يتولد بين طرفيه emf مستحثة لحظة نمو التيار حيث إن المجال المغناطيسى الناشئ عن مرور تيار كهربى فى السلك لا يقطع السلك نفسه، أما فى حالة الملف الأجوف فإن نمو الفيض القاطع له يولد emf مستحثة عكسية تعمل على إطالة زمن نمو التيار فيه، أما فى حالة الملف ذو القلب الحديدى فإن القوة الدافعة الكهربية العكسية المتولدة به بالحث الذاتى تكون أكبر لزيادة معامل الحث الذاتى له حيث $(L \propto \mu)$ مما يعمل على زيادة زمن نمو التيار فيه.

– **اضمحلال التيار فى سلك مستقيم أسرع من اضمحلاله فى ملف أجوف أسرع من اضمحلاله فى ملف به قلب حديدى لحظة فتح الدائرة.**

لأن عند انهيار التيار لا يتولد بين طرفى السلك emf مستحثة لأن السلك لا يقطع المجال المغناطيسى الناشئ عنه، أما فى حالة الملف الأجوف لحظة فتح الدائرة تتولد emf مستحثة طردية تقاوم انهيار التيار وتتوقف على التغير فى الفيض الذى يقطعه الملف فى وحدة الزمن وتزداد أكثر عندما يكون للملف قلب من الحديد لأن الحديد يعمل على زيادة معامل الحث الذاتى للملف.

* **تُلف أسلاك المقاومات القياسية لفًا مزدوجًا.**

لتلافى تأثير الحث الذاتى فى الأسلاك حيث يلغى المجال الناتج عن مرور التيار فى اتجاه معين فى أى لفة المجال الناتج عن مرور التيار فى الاتجاه المضاد فى اللفة المجاورة لها.



مثال (١)

احسب معامل الحث الذاتى لملف تتولد فيه قوة دافعة كهربية مستحثة مقدارها 10 V إذا تغيرت شدة التيار فيه بمعدل 40 A/s

الحل

$emf = 10\ V$	$\frac{\Delta I}{\Delta t} = 40\ A/s$	$L = ?$

$$L = \frac{emf}{\Delta I/\Delta t} = \frac{10}{40} = 0.25\ H$$

مثال (٢)

ملف لولبى طوله 31.4 cm وعدد لفاته 1000 لفة ومساحة كل لفة من لفاته $20\ cm^2$. احسب معامل الحث الذاتى له (علمًا بأن : معامل النفاذية المغناطيسية للهواء = $4\pi \times 10^{-7}$ T.m/A ، $\pi = 3.14$).

الحل

$\ell = 31.4 \times 10^{-2}\ m$	$N = 1000$	$A = 20 \times 10^{-4}\ m^2$	$\mu = 4\pi \times 10^{-7}\ T.m/A$	$L = ?$

$$L = \frac{\mu A N^2}{\ell} = \frac{4 \times 3.14 \times 10^{-7} \times 20 \times 10^{-4} \times (1000)^2}{31.4 \times 10^{-2}} = 8 \times 10^{-3}\ H$$

مثال (٣)

ملف حث معامل حثه الذاتى 0.02 H ومقاومته 12 Ω يتصل بطرفى بطارية قوتها الدافعة الكهربية 6 V ومقاومتها الداخلية مهملة، احسب :

(أ) معدل نمو التيار فى الملف لحظة غلق الدائرة.

(ب) معدل نمو التيار فى الملف لحظة وصول التيار إلى 75% من قيمته العظمى.

(جـ) شدة التيار المار فى دائرة الملف عندما يكون معدل نمو التيار 120 A/s

الحل

$L = 0.02\ H$	$R = 12\ \Omega$	$V_B = 6\ V$

(أ) لحظة غلق الدائرة يكون معدل نمو التيار قيمة عظمى وبالتالى يكون مقدار القوة الدافعة الكهربية المستحثة العكسية المتولدة فى الدائرة قيمة عظمى يساوى مقدار القوة الدافعة الكهربية للبطارية.

$$\therefore (emf)_{\text{مستحثة}} = V_B = 6\ V$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{(emf)_{\text{مستحثة}}}{L} = \frac{6}{0.02} = 300\ A/s$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{V_B - (emf)_{\text{مستحثة}}}{R}$$

(ب) يتعين التيار المار فى الدائرة من العلاقة :

وبالتالى عندما يصل التيار إلى 0.75 من قيمته العظمى تكون V قيمتها 0.75 من قيمتها العظمى :

$$V = 0.75\, V_B = V_B - (emf)_{\text{مستحثة}}$$

$$\therefore (emf)_{\text{مستحثة}} = V_B - 0.75\, V_B = 0.25\, V_B$$

$$(emf)_{\text{مستحثة}} = \frac{25}{100} V_B = \frac{25}{100} \times 6 = 1.5\ V$$

$$\therefore \frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{(emf)_{\text{مستحثة}}}{L} = \frac{1.5}{0.02}$$

$$= \mathbf{75\ A/s}$$

(جـ)

$$(emf)_{\text{مستحثة}} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} = -0.02 \times 120 = -2.4\ V$$

∴ مقدار القوة الدافعة الكهربية المستحثة العكسية هو 2.4 V

$$I = \frac{V}{R} = \frac{V_B - (emf)_{\text{مستحثة}}}{R} = \frac{6 - 2.4}{12} = \mathbf{0.3\ A}$$

إرشاد

* عند تغيير شدة التيار المار فى ملف بمقدار (ΔI) خلال فترة زمنية (Δt) يتغير الفيض المغناطيسى الذى يقطع الملف بمقدار ($\Delta \phi_m$) خلال نفس تلك الفترة الزمنية ويمكن تعيين معامل الحث الذاتى لهذا الملف فى حالة عدم تحديد زمن التغير كالتالى :

$$\because emf = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} = -N \frac{\Delta \phi_m}{\Delta t} \qquad \therefore L\Delta I = N\Delta \phi_m$$

مثال

ملفان متجاوران A ، B عدد لفاتهما 100 لفة، 200 لفة على الترتيب فإذا تم غلق دائرة الملف A ليمر تيار شدته 2 A فيها فنتج عنه فيض فى نفس الملف 3×10^{-4} Wb وفى الملف B فيض 1.5×10^{-5} Wb، **أوجد :**

(أ) معامل الحث الذاتى للملف A

(ب) معامل الحث المتبادل بين الملفين.

(جـ) متوسط emf فى الملف B عندما ينعدم التيار فى الملف A خلال 0.1 s

الحل

الملف A

$N_A = 100$ ، $\Delta I_A = 2\ A$

$(\Delta \phi_m)_A = 3 \times 10^{-4}\ Wb$

$L_A = ?$

الملف B

$N_B = 200$ ، $(\Delta \phi_m)_B = 1.5 \times 10^{-5}\ Wb$

$(emf)_B = ?$

$M = ?$

(أ)
$$L_A \Delta I_A = N_A (\Delta\phi_m)_A$$
$$L_A = N_A \frac{(\Delta\phi_m)_A}{\Delta I_A} = \frac{100 \times 3 \times 10^{-4}}{2} = 1.5 \times 10^{-2}\ H$$

(ب)
$$M \Delta I_A = N_B (\Delta\phi_m)_B$$
$$M = N_B \frac{(\Delta\phi_m)_B}{\Delta I_A} = \frac{200 \times 1.5 \times 10^{-5}}{2} = 1.5 \times 10^{-3}\ H$$

(جـ)
$$(emf)_B = -M \frac{\Delta I`_A}{\Delta t} = \frac{-1.5 \times 10^{-3} \times (0-2)}{0.1} = 0.03\ V$$

إرشاد

* المقارنة بين معاملى الحث الذاتى لملفين لولبيين عند ثبوت معامل النفاذية :

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{A_1 N_1^2 \ell_2}{A_2 N_2^2 \ell_1} = \frac{r_1^2 N_1^2 \ell_2}{r_2^2 N_2^2 \ell_1}$$

مثال

ملفا حث طولهما 125 cm ، 100 cm وعدد لفاتهما 5 لفات و 8 لفات على الترتيب ونصف قطر وجهيهما 4 cm ، 2 cm على الترتيب، **احسب** النسبة بين معاملى الحث الذاتى لهما $(\frac{L_1}{L_2})$.

الحل

$\ell_1 = 125\ cm$ | $\ell_2 = 100\ cm$ | $N_1 = 5$ | $N_2 = 8$ | $r_1 = 4\ cm$ | $r_2 = 2\ cm$ | $\frac{L_1}{L_2} = ?$

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{r_1^2 N_1^2 \ell_2}{r_2^2 N_2^2 \ell_1} = \frac{(4)^2 \times (5)^2 \times 100}{(2)^2 \times (8)^2 \times 125} = \frac{5}{4}$$

تطبيق على الحث الذاتى لملف

مصباح الفلورسنت

الاستخدام

فى الإضاءة.

شرح الفكرة العلمية

يتم تفريغ الطاقة المغناطيسية المختزنة فى ملف حث فى أنبوبة مفرغة من الهواء وبها غاز خامل تحت ضغط منخفض، مما يسبب تصادمات بين ذراته تؤدى إلى تأينها وعند اصطدام هذه الأيونات مع سطح الأنبوبة المطلى بمادة فلورسية ينبعث ضوء مرئى.

28 اختبــر نفسـك

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

١ ملف كان معامل حثه الذاتى 0.2 H عندما كان قلبه هوائى، فإذا وضع به قلب مـن الحديد فإن معامل حثه الذاتى ....

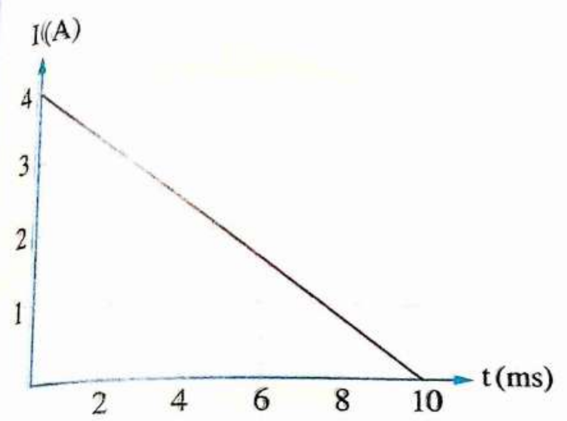
أ) يساوى 0.2 H

ب) يزيد عن 0.2 H

ج) يقل عن 0.2 H

د) يصبح صفر

٢ الشكل البيانى المقابل يمثل العلاقة بين شدة التيار (I) المار فـى ملف لولبـى والزمن (t)، فـإذا علمـت أن معامل الحث الذاتى للملف 60 mH فإن القوة الدافعة الكهربية المستحثة فى الملف تساوى ....



أ) 8 V

ب) 16 V

ج) 24 V

د) 32 V

٣ ملفـان متجـاوران A، B عـدد لفاتهمـا 200 لفـة، 800 لفـة علـى الترتيـب، إذا تغيـر التيـار المـار فـى الملـف A بمقـدار 10 A تغـير الفيـض المغناطيسـى خـلال الملـف A بمقـدار 10^{-3} Wb وخـلال الملف B بمقدار 10^{-4} Wb فإن ....

	معامل الحث الذاتى للملف A	معامل الحث المتبادل بين الملفين
أ	0.02 H	8×10^{-3} H
ب	0.02 H	6×10^{-3} H
ج	0.04 H	8×10^{-3} H
د	0.04 H	6×10^{-3} H

• يمكن تلخيص ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي كما يلي :

(أ) إحداث تغير فى الفيض المغناطيسى الذى يقطع الموصل، عن طريق :

١ غلق أو فتح دائرة ملف متصل بمصدر تيار كهربى مستمر فيتسبب ذلك فى تغيير شدة التيار المار بالملف

٢ تغيير شدة التيار المستمر المار فى ملف بواسطة الريوستات

٣ توصيل ملف بمصدر تيار كهربى متغير

٤ الحركة النسبية بين موصل ومصدر فيض ثابت مثل مغناطيس أو تيار مستمر

مما يؤدى إلى

تغير فى الفيض المغناطيسى الذى يقطع الملف أو الموصل وتولد قوة دافعة كهربية مستحثة بين طرفى الملف أو الموصل

(ب) الحصول على تيار مستحث :

إذا كان الموصل متصل بدائرة كهربية مغلقة يؤدى تولد قوة دافعة كهربية مستحثة إلى مرور تيار مستحث فى الموصل،



الفصل 3

الدرس الثالث

المولد الكهربى



فى هذا الدرس سوف نتعرف :

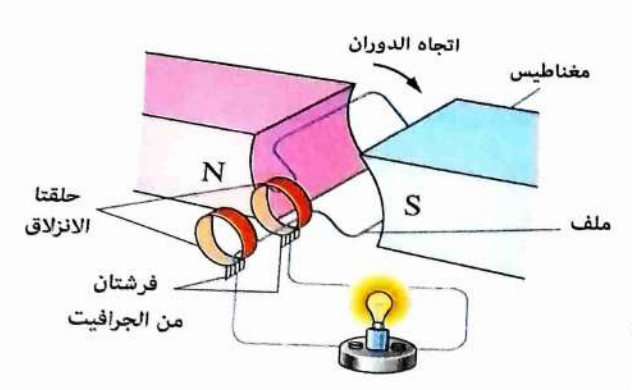
- مولد التيار الكهربى المتردد [الدينامو].
- القيمة الفعالة للتيار المتردد.
- تقويم التيار الكهربى المتردد فى المولد الكهربى.

مولد التيار الكهربى المتردد (الدينامو) AC Generator

الاستخدام

تحويل الطاقة الميكانيكية (الحركية) إلى طاقة كهربية.

التركيب



1. مغناطيس ثابت (دائم أو كهربى).
2. ملف يتكون من لفة واحدة أو عدة لفات موضوع بحيث يكون قابل للدوران حول محور عمودى على المجال المغناطيسى.
3. حلقتا انزلاق معدنيتان تتصل كل منهما بإحدى نهايتى الملف وتدوران مع دوران الملف.
4. فرشتان من الجرافيت (قطبا الدينامو) تلامس كل منهما إحدى الحلقتين المنزلقتين ليمر التيار الكهربى المستحث فى الملف من خلالهما للدائرة الخارجية.

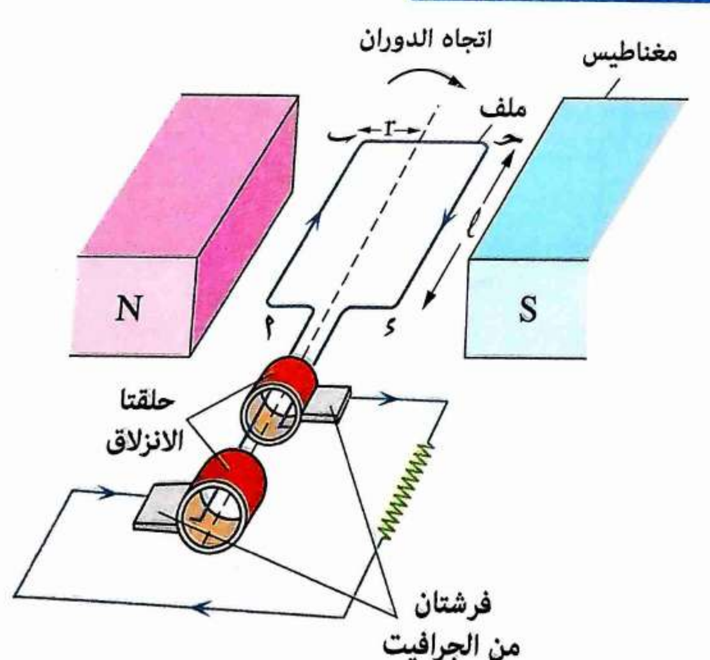
الأساس العلمى (فكرة العمل)

الحث الكهرومغناطيسى.

شرح فكرة العمل

عند دوران ملف بين قطبى المغناطيس يتغير الفيض المغناطيسى الذى يقطع الملف مع الزمن فتتولد بين طرفى الملف قوة دافعة كهربية مستحثة ويمر به تيار كهربى مستحث.

حساب القوة الدافعة الكهربية المستحثة اللحظية فى ملف الدينامو



* عند دوران الملف بسرعة زاوية ω يدور الضلعان أب ، حـ ء المثلان لطولى الملف بسرعة خطية v فى فيض مغناطيسى منتظم كثافته B، فإذا كانت الزاوية بين اتجاه السرعة الخطية وخطوط الفيض هى θ فإن emf المستحثة فى تلك اللحظة فى كل من الضلعين هى : $emf = B\ell v \sin\theta$

حيث : (ℓ) طول الضلع أب أو حـ ء

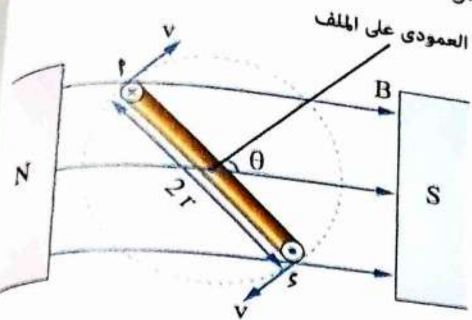
بينما الضلعان ب حـ ، أ ء لا تتولد عنهما emf مستحثة

$emf = 2 B\ell v \sin\theta$

$\because v = \omega r$

وبالتالى تصبح emf المستحثة المتولدة فى اللفة الواحدة :

حيث : (ω) السرعة الزاوية وتساوى (2 πf) وتقاس بوحدة (rad/s)، (f) تردد دوران الملف، (r) نصف قطر الدائرة التى يدور فيها الملف حول محوره (نصف طول الضلع أ ء أو ب حـ).



$\therefore emf = 2 B\ell\omega r \sin\theta$

$\because A$ (مساحة وجه الملف) $= \ell \times 2r$

$\therefore emf = BA\omega \sin\theta$

وعندما يكون عدد لفات الملف N تكون emf اللحظية :

$$emf = NBA\omega \sin\theta$$

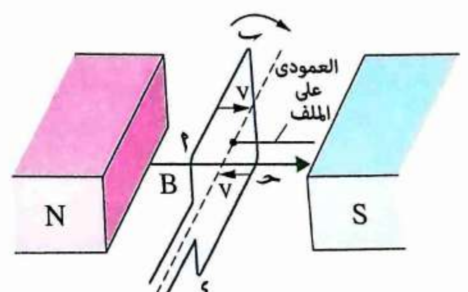
حيث (θ) هى :

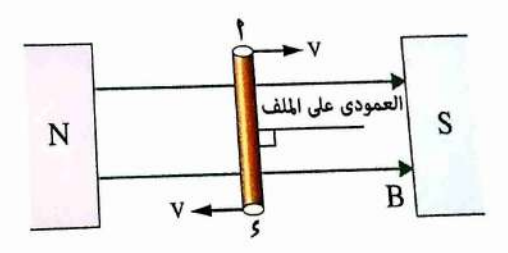
1. الزاوية المحصورة بين مستوى الملف والعمودى على اتجاه خطوط الفيض المغناطيسى.
2. الزاوية المحصورة بين اتجاه خطوط الفيض المغناطيسى والعمودى على مستوى الملف.
3. الزاوية المحصورة بين اتجاه السرعة الخطية للضلعين الطوليين للملف واتجاه خطوط الفيض المغناطيسى.
4. زاوية دوران الملف مبتدءًا من وضع الصفر.

فإذا كان مستوى الملف

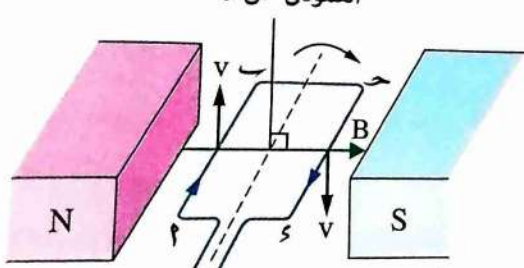
عمودى على خطوط الفيض	موازى لخطوط الفيض

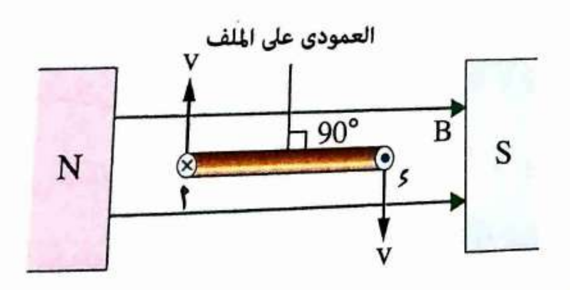
عمودى على خطوط الفيض





موازى لخطوط الفيض





فإن

العمودى على الملف يكون موازيًا للمجال : $(\theta = 0°)$

$$emf = NBA\omega \sin 0 = 0$$

العمودى على الملف يكون عموديًا على المجال : $(\theta = 90°)$

$$emf = NBA\omega \sin 90 = NBA\omega$$

أى

تنعدم القوة الدافعة الكهربية المستحثة	تصبح القوة الدافعة الكهربية المستحثة **قيمة عظمى**

إذا دار الملف بزاوية θ من الوضع

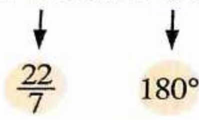
العمودى على اتجاه الفيض المغناطيسى	الموازى لاتجاه الفيض المغناطيسى

فإن

$emf = NBA\omega \sin \theta$	$emf = NBA\omega \sin (90 + \theta)$

* **مما سبق يتضح أنه يمكن تعيين emf المستحثة اللحظية بدلالة $(emf)_{max}$ كالتالى :**

$$emf = (emf)_{max} \sin \theta$$
$$= NBA\omega \sin \theta = NBA\omega \sin \omega t$$
$$= NBA \times 2\,\pi\, f \sin 2\,\pi\, ft$$



$$\therefore \quad emf = (emf)_{max} \sin 2\,\pi ft$$

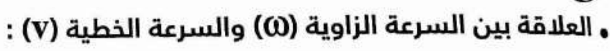
ملاحظة

* **يمكن تعيين القوة الدافعة الكهربية المستحثة اللحظية بدلالة السرعة الخطية لحركة الضلعين الطوليين لملف الدينامو من العلاقة :**

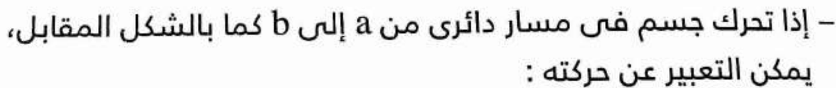
$$emf = 2\,NB\ell v \sin \theta$$

حيث (ℓ) طول ضلع ملف الدينامو، (v) السرعة الخطية لملف الدينامو.

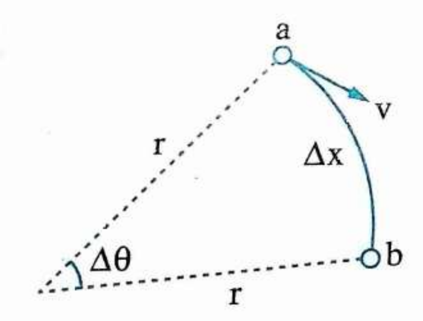
معلومة إثرائية



• **العلاقة بين السرعة الزاوية (ω) والسرعة الخطية (v) :**



– إذا تحرك جسم فى مسار دائرى من a إلى b كما بالشكل المقابل، يمكن التعبير عن حركته :



(١) بالسرعة الخطية : $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ وتقاس بـ m/s

(٢) بالسرعة الزاوية : $\omega = \frac{\Delta \theta}{\Delta t}$ وتقاس بـ rad/s

– إذا تحرك الجسم دورة كاملة فى فترة زمنية T، فإن :

$$v = \frac{2\,\pi r}{T} \quad \Rightarrow \quad T = \frac{2\,\pi r}{v} \qquad (1)$$

$$\omega = \frac{2\,\pi}{T} \quad \Rightarrow \quad T = \frac{2\,\pi}{\omega} \qquad (2)$$

من المعادلتين (1) ، (2) :

$$\therefore \frac{2\,\pi r}{v} = \frac{2\,\pi}{\omega}$$

$$\therefore \quad v = \omega r$$

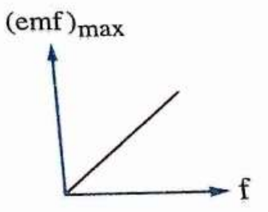
لاحظ أن من المعادلة (2) :

$$\omega = \frac{2\,\pi}{T} = 2\,\pi f$$

العوامل التى يتوقف عليها مقدار emf المستحثة العظمى فى ملف دينامو التيار المتردد

١ التردد أو السرعة الزاوية التى يتحرك بها الملف :

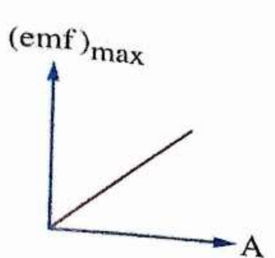
يتناسب مقدار emf المستحثة العظمى تناسبًا طرديًا مع التردد أو السرعة الزاوية التى يتحرك بها الملف.



$$slope = \frac{\Delta(emf)_{max}}{\Delta f} = NBA \times 2\pi$$

٢ مساحة وجه الملف :

يتناسب مقدار emf المستحثة العظمى تناسبًا طرديًا مع مساحة وجه الملف.

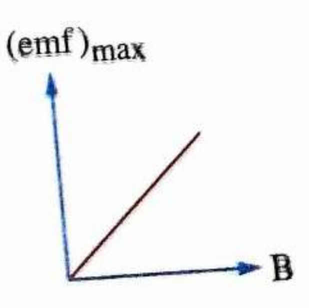


$$slope = \frac{\Delta(emf)_{max}}{\Delta A} = NB \times 2\pi f$$

$$(emf)_{max} = NBA \times 2\pi f$$

٣ كثافة الفيض المغناطيسي للمغناطيس المستخدم :

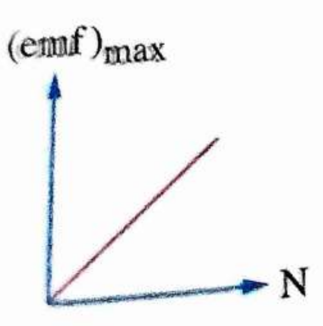
يتناسب مقدار emf المستحثة العظمى تناسبًا **طرديًا** مع كثافة الفيض المغناطيسي للمغناطيس المستخدم.



$$slope = \frac{\Delta(emf)_{max}}{\Delta B} = NA \times 2\pi f$$

٤ عدد لفات الملف :

يتناسب مقدار emf المستحثة العظمى تناسبًا **طرديًا** مع عدد لفات الملف.



$$slope = \frac{\Delta(emf)_{max}}{\Delta N} = BA \times 2\pi f$$

العوامل التى يتوقف عليها مقدار emf المستحثة اللحظية فى ملف دينامو التيار المتردد

$$emf = (emf)_{max} \sin \theta$$

١ الزاوية بين العمودى على مستوى الملف والفيض المغناطيسى أو الزاوية بين اتجاه السرعة الخطية واتجاه الفيض :

يتناسب مقدار emf المستحثة اللحظية تناسبًا طرديًا مع جيب الزاوية بين العمودى على مستوى الملف والفيض المغناطيسى أو جيب الزاوية بين اتجاه السرعة الخطية اللحظية واتجاه الفيض.

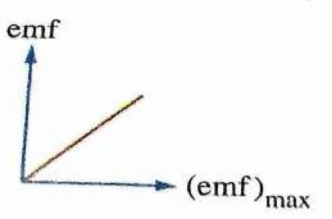
emf

$\sin \theta$

$$slope = \frac{\Delta(emf)}{\Delta \sin \theta} = (emf)_{max} = NBA \times 2\pi f$$

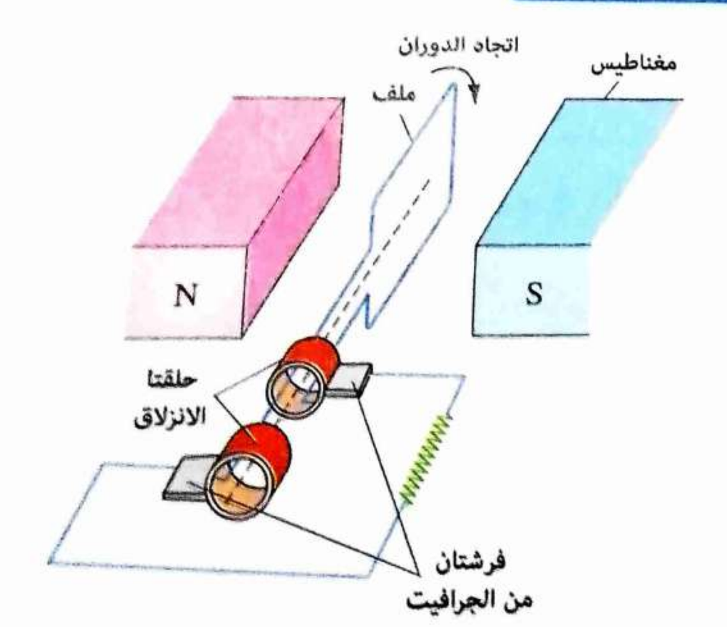
٢ القوة الدافعة الكهربية المستحثة العظمى ملف الدينامو :

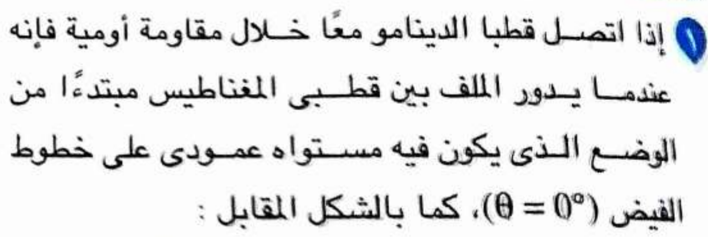
يتناسب مقدار emf المستحثة اللحظية تناسبًا طرديًا مع مقدار emf المستحثة العظمى.



$$slope = \frac{\Delta(emf)}{\Delta(emf)_{max}} = \sin \theta$$

القوة الدافعة الكهربية المستحثة فى المولد خلال دورة كاملة





١ إذا اتصل قطبا الدينامو معًا خلال مقاومة أومية فإنه عندما يدور الملف بين قطبى المغناطيس مبتدءًا من الوضع الذى يكون فيه مستواه عمودى على خطوط الفيض ($\theta = 0^\circ$)، كما بالشكل المقابل :

يكون $emf = (emf)_{max} \sin 0 = 0$ وبالتالى ينعدم كل من emf المستحثة وشدة التيار المستحث.

٢ عندما يدور الملف تزداد قيمة emf تدريجيًا حتى يصبح مستوى الملف موازيًا لخطوط الفيض تصبح emf قيمة عظمى وكذلك شدة التيار المستحث.

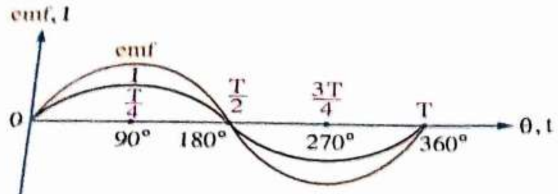
٣ باستمرار دوران الملف حتى يصبح مستواه عموديًا على خطوط الفيض مرة أخرى تقل قيمة emf حتى تنعدم تدريجيًا وكذلك شدة التيار المستحث.

٤ عندما يدور الملف يتغير اتجاه كل من emf المستحثة والتيار المستحث ليصبح عكس الاتجاه الأول وتتكرر الخطوة **٢** ثم الخطوة **٣** حتى يكمل الملف دورة كاملة خلال زمن قدره T ويمكن تمثيل ذلك بمنحنى جيبى كما يلى :

وضع الملف	القوة الدافعة الكهربية المستحثة	التمثيل البيانى
$t = 0 , \theta = 0° , \sin\theta = 0$	صفر	emf, 0, 90°, 180°, 270°, 360°, θ
$t = \frac{T}{4} , \theta = 90° = \frac{\pi}{2} , \sin\theta = 1$	$emf = NBA\omega$ (قيمة عظمى)	emf, 0, 90°, 180°, 270°, 360°, θ
$t = \frac{T}{2} , \theta = 180° = \pi , \sin\theta = 0$	صفر	emf, 0, 90°, 180°, 270°, 360°, θ
$t = \frac{3T}{4} , \theta = 270° = \frac{3}{2}\pi , \sin\theta = -1$	$emf = -NBA\omega$ (قيمة عظمى فى الاتجاه المضاد)	emf, 0, 90°, 180°, 270°, 360°, θ
$t = T , \theta = 360° = 2\pi , \sin\theta = 0$	صفر	emf, 0, 90°, 180°, 270°, 360°, θ

مما سبق نستنتج أن :

- القوة الدافعة المستحثة تتغير جيبيًا مع الزاوية θ (كما بالشكل)، حيث :
  - تكون قيمة عظمى عند $(\theta = 90^\circ , 270^\circ)$.
  - تنعدم عند $(\theta = 0^\circ , 180^\circ , 360^\circ)$.



- عند اتصال طرفى ملف الدينامو بمقاومة أومية تكون قيمة التيار المستحث صفر عندما تكون $(emf = 0)$، ويكون قيمة عظمى عندما تكون emf قيمة عظمى.
- التيار المستحث اللحظى يتناسب طرديًا مع القوة الدافعة المستحثة عند نفس اللحظة طبقًا لقانون أوم، وبالتالى فإن التيار المستحث اللحظى يحسب من العلاقة :

$$I = I_{max} \sin \theta = I_{max} \sin 2\pi ft$$

- التيار المتولد يغير اتجاهه كل نصف دورة، ويعرف **بالتيار المتردد**.

التيار المتردد

التيار الذى تتغير شدته دوريًا من الصفر إلى نهاية عظمى ثم يعود إلى الصفر فى نصف دورة ثم ينعكس اتجاهه وتزداد شدته إلى نهاية عظمى ثم يعود إلى الصفر فى نصف الدورة الثانى ويتكرر ذلك بنفس الكيفية كل دورة.

* **من الشكل البيانى السابق نجد أن التيار المتردد :**

- يصنع خـــلال الثانية الواحدة عدد من الذبذبات (الدورات) الكاملة يطلق عليها **التردد (f)** ، ويتعين من العلاقة :

$$f = \frac{\text{عدد الدورات}}{\text{الزمن الكلى}}$$

وحدة قياس التردد هى **هـيرتز (Hz) ويكـافئ ثانية$^{-1}$**

- يستغرق زمن لعمل ذبذبة كاملة يطلق عليه **الزمن الدورى (T)**، ويتعين من العلاقة :

$$T = \frac{\text{الزمن الكلى}}{\text{عدد الدورات}} = \frac{1}{f}$$

* **من هنا يمكن تعريف كل من تردد التيار المتردد والزمن الدورى له كالتالى :**

التردد (f)

عدد الذبذبات (الدورات) الكاملة التى يصنعها التيار المتردد فى الثانية الواحدة.

الزمن الدورى (T)

الزمن الذى يستغرقه التيار المتردد فى عمل ذبذبة (دورة) كاملة.

ملاحظات

* يختلف تردد التيار المتولد من محطات القوى الكهربية من بلد لآخر، فتردد التيار المستخدم فى مصر هو 50 Hz
* عندما يكمل ملف الدينامو دورة كاملة حول محوره تتولد ذبذبة كاملة للتيار المتردد، لذا تردد التيار المتردد يساوى تردد دوران ملف الدينامو الذى أنتجه.
* عدد مرات وصول التيار المتردد للصفر خلال الثانية بدءًا من وضع الصفر (الوضع العمودى) = $2f + 1$
* عدد مرات وصول التيار المتردد لقيمة عظمى خلال الثانية بدءًا من وضع الصفر (الوضع العمودى) = $2f$

مثال ١

ملف فى مولد كهربى بسيط للتيار المتردد عدد لفاته 100 لفة مساحة مقطع كل منها $0.21\ m^2$ يدور الملف بتردد 50 دورة فى الثانية فى مجال مغناطيسى ثابت كثافة فيضه $10^{-3}\ Weber/m^2$، **احسب** القيمة العظمى للقوة الدافعة المستحثة، **ثم احسب** قيمة القوة الدافعة المستحثة عندما تكون الزاوية بين اتجاه السرعة الخطية لضلعا الملف الطوليين واتجاه الفيض 30°

الحل

$N = 100$ | $A = 0.21\ m^2$ | $f = 50\ Hz$ | $B = 10^{-3}\ Weber/m^2$ | $\theta = 30°$

$(emf)_{max} = ?$ | $emf = ?$

$$(emf)_{max} = NBA\omega = NBA \times 2\pi f$$

$$= 100 \times 10^{-3} \times 0.21 \times 2 \times \frac{22}{7} \times 50 = \mathbf{6.6\ V}$$

$$emf = (emf)_{max} \sin\theta = 6.6 \times \sin 30 = \mathbf{3.3\ V}$$

مثال ٢

دينامو تيار متردد ملفه مستطيل الشكل طوله 50 cm وعدد لفاته 400 لفة يدور بمعدل 360 دورة فى الدقيقة داخل مجال مغناطيسى منتظم كثافة فيضه 0.25 T، فإذا كان ضلعا الملف الطويلان يدوران حول محور موازى لطوله بسرعة خطية 4 m/s ، **احسب :**

(أ) القيمة العظمى للقوة الدافعة الكهربية المستحثة.

(ب) قيمة القوة الدافعة الكهربية اللحظية عند ميل اتجاه السرعة الخطية لضلعا الملف الطولين بزاوية 45° على اتجاه خطوط الفيض المغناطيسى.

(جـ) قيمة القوة الدافعة الكهربية اللحظية بعد مرور $\frac{1}{720}$ ثانية من وضع الصفر.

الحـــل

$\ell = 50\ cm$	$N = 400$	$f = \frac{360}{60}\ Hz$	$B = 0.25\ T$	$v = 4\ m/s$	$\theta = 45°$
$t = \frac{1}{720}\ s$	$(emf)_{max} = ?$	$emf = ?$			

(أ)

$$(emf)_{max} = 2NB\ell v$$

$$= 2 \times 400 \times 0.25 \times 50 \times 10^{-2} \times 4 = \mathbf{400\ V}$$

(ب)

$$emf = (emf)_{max} \sin\theta = 400 \sin 45 = \mathbf{282.84\ V}$$

(جـ)

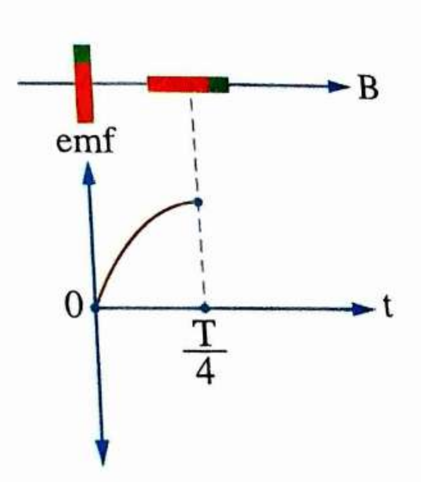
$$emf = (emf)_{max} \sin 2\pi ft = 400 \sin\left(2 \times 180 \times \frac{360}{60} \times \frac{1}{720}\right)$$

$$= \mathbf{20.93\ V}$$

* بفـرض أن الفيض المغناطيسى الـــذى يقطع الملف فى الوضع العمودى الابتدائى يســاوى $(+BA)$، تتعين القوة الدافعة الكهربية المتوسطة المستحثة فى ملف الدينامو إذا أُدير الملف بزاوية :

- $90°$ ($\frac{1}{4}$ دورة $= \frac{\pi}{2}$) :

من الوضع العمودى على اتجاه الفيض المغناطيسى



من الوضع الموازى لاتجاه الفيض المغناطيسى

B

emf

0

t

$\frac{T}{4}$

فإن

من الوضع العمودى:

$$(\phi_m)_1 = BA\ ,\ (\phi_m)_2 = 0$$

$$\Delta\phi_m = 0 - BA = -BA$$

من الوضع الموازى:

$$(\phi_m)_1 = 0\ ,\ (\phi_m)_2 = BA$$

$$\Delta\phi_m = BA - 0 = BA$$

$$\Delta t = \frac{T}{4} = \frac{1}{4f}$$

من الوضع العمودى:

$$(emf)_{متوسط} = -N\frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} = -N\frac{-BA}{\frac{1}{4f}}$$

$$= NBA \times 4f$$

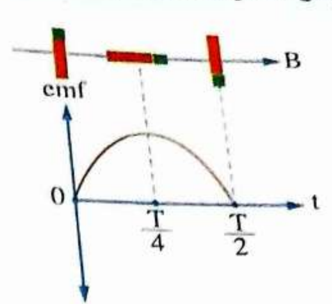
من الوضع الموازى:

$$(emf)_{متوسط} = -N\frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} = -N\frac{BA}{\frac{1}{4f}}$$

$$= -NBA \times 4f$$

– $180°$ ($\frac{1}{2}$ دورة $= \pi$) :

من الوضع العمودى على اتجاه الفيض المغناطيسى



$$(\phi_m)_1 = BA \ , \ (\phi_m)_2 = -BA$$
$$\Delta\phi_m = -BA - BA = -2BA$$

$$(emf)_{متوسط} = -N\frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} = -N\frac{-2BA}{\frac{1}{2f}}$$
$$= NBA \times 4f$$

من الوضع الموازى لاتجاه الفيض المغناطيسى

$$(\phi_m)_1 = 0 \ , \ (\phi_m)_2 = 0$$
$$\Delta\phi_m = 0$$

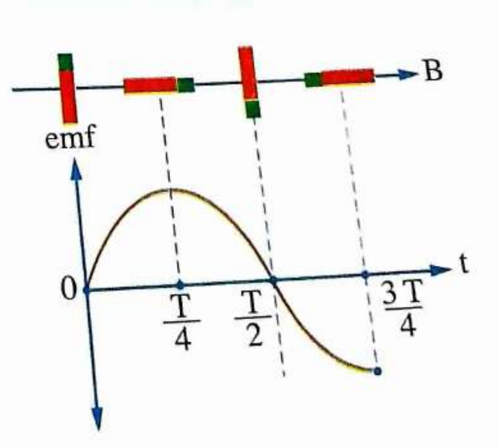
$$(emf)_{متوسط} = -N\frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} = -N\frac{0}{\frac{1}{2f}} = 0$$

فإن

$$\Delta t = \frac{T}{2} = \frac{1}{2f}$$

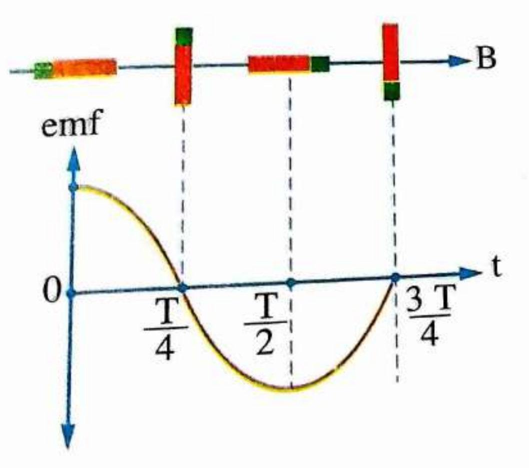
– $270°$ ($\frac{3}{4}$ دورة $= \frac{3\pi}{2}$) :

من الوضع العمودى على اتجاه الفيض المغناطيسى



$$(\phi_m)_1 = BA \ , \ (\phi_m)_2 = 0$$
$$\Delta\phi_m = 0 - BA = -BA$$

من الوضع الموازى لاتجاه الفيض المغناطيسى



$$(\phi_m)_1 = 0 \ , \ (\phi_m)_2 = -BA$$
$$\Delta\phi_m = -BA - 0 = -BA$$

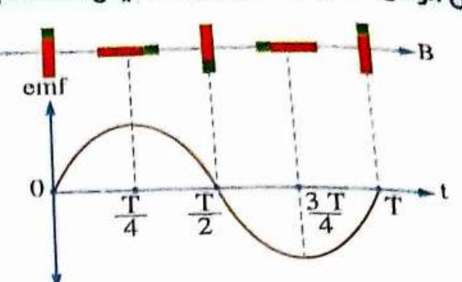
فإن

$$\Delta t = \frac{3T}{4} = \frac{3}{4f}$$

$$(emf)_{متوسط} = -N\frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} = -N\frac{-BA}{\frac{3}{4f}} = NBA \times \frac{4}{3}f$$

$360°$ (دورة كاملة $= 2\pi$) :

من الوضع العمودى على اتجاه الفيض المغناطيسى



فإن

$$(\phi_m)_1 = BA \ , \ (\phi_m)_2 = BA$$

من الوضع الموازى لاتجاه الفيض المغناطيسى

فإن

$$(\phi_m)_1 = 0 \ , \ (\phi_m)_2 = 0$$

$$\Delta\phi_m = 0$$

$$\Delta t = T = \frac{1}{f}$$

$$(emf)_{\text{متوسط}} = -N\frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} = -N\frac{0}{\frac{1}{f}} = 0$$

ملاحظات

* **مبتدءًا من وضع الصفر يكون متوسط القوة الدافعة المستحثة خلال $\frac{1}{4}$ دورة = متوسط القوة الدافعة المستحثة خلال $\frac{1}{2}$ دورة،**

لأن متوسط القوة الدافعة الكهربية خلال $\frac{1}{4}$ دورة يحسب من العلاقة :

$$emf = -N\frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} = -N\frac{-BA}{\frac{T}{4}} = +4\,NBAf \qquad (1)$$

ومتوسط القوة الدافعة الكهربية خلال $\frac{1}{2}$ دورة من وضع الصفر يحسب من العلاقة :

$$emf = -N\frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} = -N\frac{-2\,BA}{\frac{T}{2}} = +4\,NBAf \qquad (2)$$

من المعادلتين (1)، (2) نلاحظ أن تضاعف التغير فى الفيض المغناطيسى خلال $\frac{1}{2}$ دورة يقابله تضاعف للزمن الحادث فيه، فيظل معدل التغير فى الفيض المغناطيسى ثابت وبالتالى تظل القوة الدافعة المستحثة المتوسطة دون تغيير.

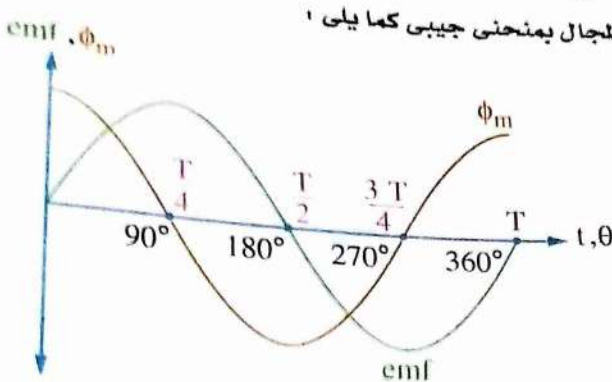
---

* **القيمة المتوسطة للتيار المتردد خلال دورة كاملة للملف = صفر.**

* متوسط القوة الدافعة خلال دورة كاملة = صفر،

لأن متوسط القوة الدافعة الكهربية فى النصف الأول للدورة يساوى متوسط القوة الدافعة الكهربية فى النصف الثانى للدورة ويضاده فى الاتجاه فتكون محصلتهما = صفر.

* تمثل العلاقة البيانية بين كل من القوة الدافعة الكهربية المستحثة المتولدة فى ملف الدينامو (emf) أو الفيض المغناطيسى (ϕ_m) مع الزمن (t) أو الزاوية (θ) خلال دورة كاملة مبتدءًا من الوضع الذى يكون فيه الملف عمودى على المجال بمنحنى جيبى كما يلى :



مثال

ملف مستطيل لدينامو تيار متردد طوله 30 cm وعرضه 20 cm ، عدد لفاته 100 لفة يدور فى مجال مغناطيسى بحيث يكمل 1500 لفة فى الدقيقة، فإذا كانت كثافة الفيض المغناطيسى 0.07 T، **أوجد :**

(أ) قيم القوة الدافعة المستحثة اللحظية فى الملف عندما يمر بالأوضاع الآتية :

١- مستوى الملف عموديًا على المجال.

٢- مستوى الملف موازيًا للمجال.

٣- مستوى الملف يميل بزاوية 60° على اتجاه المجال.

٤- مستوى الملف يميل بزاوية 60° على العمودى على اتجاه المجال.

(ب) مقدار متوسط emf المستحثة خلال :

١- ربع دورة عندما يدور الملف من الوضع العمودى على اتجاه المجال.

٢- $\frac{3}{4}$ دورة عندما يدور الملف من الوضع الموازى على اتجاه المجال.

الحــل

$A = 20 \times 30 = 600\ cm^2$ | $N = 100$ | $f = \frac{1500}{60}\ Hz$ | $B = 0.07\ T$

$emf = ?$ $(emf)_{متوسط} = ?$

(أ) ١- $emf = NBA\omega \sin\theta = NBA\omega \sin 0 = \mathbf{0}$

٢- $emf = (emf)_{max} = NBA \times 2\pi f$

$$= 100 \times 0.07 \times 600 \times 10^{-4} \times 2 \times \frac{22}{7} \times \frac{1500}{60} = \mathbf{66\ V}$$

٣- $emf = (emf)_{max} \sin\theta = 66 \times \sin 30 = \mathbf{33\ V}$

٤- $emf = (emf)_{max} \sin\theta = 66 \sin 60 = \mathbf{57.16\ V}$

(ب) ١- $(emf)_{متوسط} = NBA \times 4\ f$

$$= 100 \times 0.07 \times 600 \times 10^{-4} \times 4 \times \frac{1500}{60} = \mathbf{42\ V}$$

٢- $(emf)_{متوسط} = NBA \times \frac{4}{3}\ f$

$$= 100 \times 0.07 \times 600 \times 10^{-4} \times \frac{4}{3} \times \frac{1500}{60} = \mathbf{14\ V}$$

29 اختبــر نفسك

مجاب عنها

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

دينامو تيار متردد يتكون ملفه من 200 لفة مساحة كل منها $0.02\ m^2$ يدور بتردد 50 Hz داخل مجال مغناطيسى كثافة فيضه 0.2 T، فيكون مقدار القوة الدافعة الكهربية المستحثة المتوسطة خلال ربع دورة من الوضع الموازى للمجال هو ....

(أ) 40 V
(ب) 80 V
(ج) 160 V
(د) 240 V

القيمة الفعالة للتيار المتردد Effective Value Of Current

* تتغير قيمة التيار من $+I_{max}$ إلى $-I_{max}$ ، وبالتالى تكون القيمة المتوسطة للتيار المتردد خلال دورة كاملة تساوى صفر ($I_{(متوسط)} = 0$)، بينما القدرة الكهربية المستهلكة خلال دورة كاملة لا تساوى الصفر، لأن الطاقة الكهربية تستهلك كطاقة حرارية نتيجة حركة الإلكترونات داخل الموصل بغض النظر عن اتجاهها.

ويمكن التعبير عن شدة التيار المتردد بقيمة التيار الموحد الاتجاه الذى يولد نفس معدل التأثير الحرارى في مقاومة معينة، وهذه القيمة تسمى **القيمة الفعالة للتيار** (I_{eff}) وتساوى 0.707 من القيمة العظمى للتيار.

أى أن

$$I_{eff} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} = 0.707\ I_{max}$$

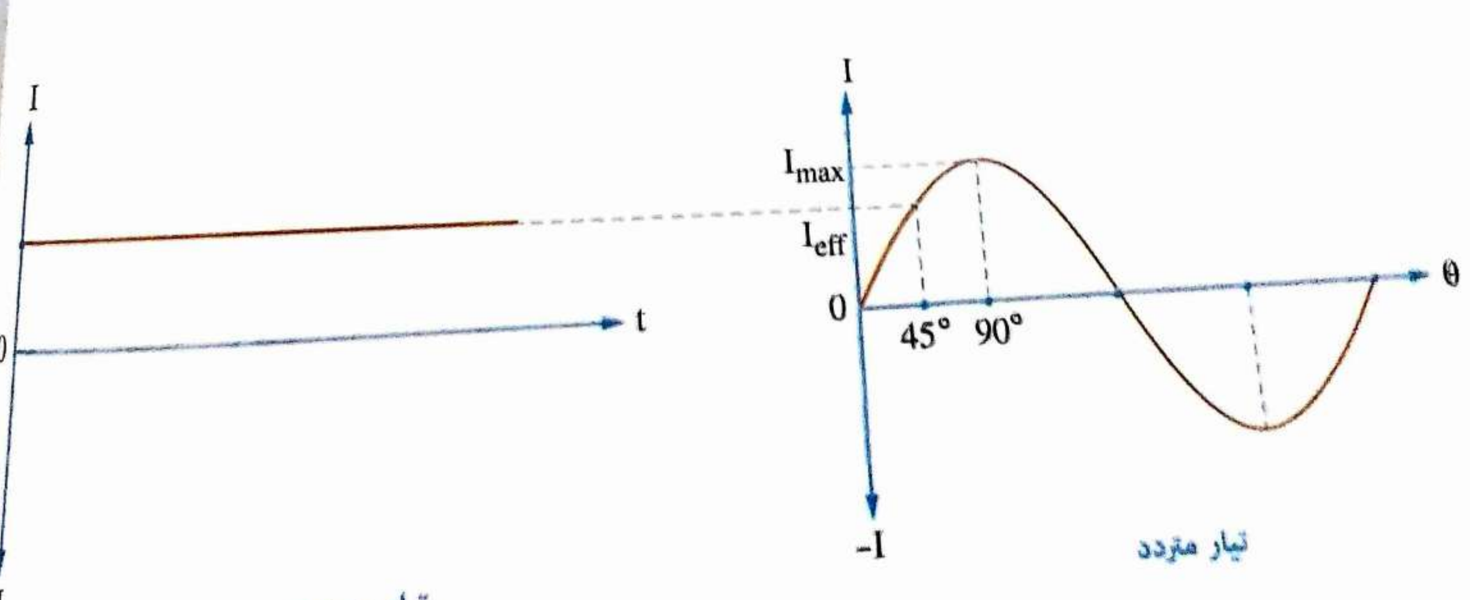
وبالتالى يمكن تعريف القيمة الفعالة للتيار المتردد كالتالى :

القيمة الفعالة للتيار المتردد

شدة التيار المستمر الذى يولد نفس الطاقة الحرارية التى يولدها التيار المتردد فى نفس المقاومة وخلال نفس الزمن.

أو

شدة التيار المستمر الذى يولد نفس القدرة الحرارية التى يولدها التيار المتردد فى نفس المقاومة.



التياران لهما نفس التأثير الحرارى فى موصل معين

* نظرًا لأن التيار يتناسب طرديًا مع القوة الدافعة الكهربية،
فإن القيمة الفعالة للقوة الدافعة الكهربية تتعين من العلاقة :

$$(emf)_{eff} = \frac{(emf)_{max}}{\sqrt{2}} = 0.707\ (emf)_{max}$$

مثال

إذا كانت القيمة الفعالة لتيار متردد يمر فى دائرة 10 A عندما تكون القيمة الفعالة للقوة الدافعة الكهربية للمصدر المتردد 240 V، **احسب** القيمة العظمى لكل من التيار المار فى الدائرة والقوة الدافعة الكهربية للمصدر المتردد.

الحـــل

$I_{eff} = 10$ A | $(emf)_{eff} = 240$ V | $I_{max} = ?$ | $(emf)_{max} = ?$

$$I_{eff} = 0.707\ I_{max}$$

$$10 = 0.707\ I_{max}$$

$$I_{max} = \frac{10}{0.707} = 14.14\ A$$

$$(emf)_{eff} = 0.707\ (emf)_{max}$$

$$240 = 0.707\ (emf)_{max}$$

$$(emf)_{max} = \frac{240}{0.707} = 339.46\ V$$

إرشاد

* لحساب القدرة الكهربية المستهلكة فى مقاومة :

$$P_w = (emf)_{eff}\ I_{eff} = I_{eff}^2 R = \frac{(emf)_{eff}^2}{R}$$

* لحساب الطاقة الكهربية المستهلكة فى مقاومة خلال دورة كاملة :

$$W = P_w T = \frac{P_w}{f}$$

مثال

إذا كانت القوة الدافعة الكهربية المستحثة اللحظية الناتجة من دينامو تيار متردد تعطى من العلاقة $emf = 250 \sin 21600\, t$، احسب :

(أ) القيمة العظمى للقوة الدافعة الكهربية.
(ب) القيمة الفعالة للقوة الدافعة الكهربية.
(جـ) تردد التيار.
(د) السرعة الزاوية.
(هـ) الطاقة الكهربية المستهلكة في مقاومة $10\ \Omega$ متصلة بالدائرة الخارجية للدينامو خلال دورة كاملة للدينامو.

الحل

(أ) اكتب معادلة القوة الدافعة الكهربية المستحثة اللحظية ثم قارنها مع المعادلة المعطاة.

$$emf = (emf)_{max} \sin 2\pi f\, t$$
$$emf = 250 \sin 21600\, t$$

$$(emf)_{max} = 250\ V$$

(ب)
$$(emf)_{eff} = \frac{(emf)_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{250}{\sqrt{2}} = 176.78\ V$$

(جـ)
$$2\pi f = 21600$$
$$f = \frac{21600}{2 \times 180} = 60\ Hz$$

(د)
$$\omega = 2\pi f = 2 \times \frac{22}{7} \times 60 = 377.14\ rad/s$$

(هـ)
$$W = \frac{(emf)^2_{eff}\, T}{R} = \frac{(176.78)^2 \times \frac{1}{60}}{10} = 52.09\ J$$

30 اختبر نفسك

مجاب عنها

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

١ ملف مستطيل الشكل أبعاده 50 cm ، 70 cm وعدد لفاته 100 لفة يدور في مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه 0.04 T بمعدل 25 دورة/ث، فتكون قيمة القوة الدافعة الكهربية الفعالة المتولدة في الملف هي ....

(أ) $110\sqrt{2}\ V$
(ب) $55\sqrt{2}\ V$
(جـ) $103.71\ V$
(د) $220\ V$

٢ مولد تيار متردد القيمة العظمى لقوته الدافعة الكهربية 300 V وُصل بمصباح كهربي قدرته 60 W، فإن القيمة العظمى للتيار المار في المصباح تساوي ....

(أ) 0.2 A
(ب) 0.4 A
(جـ) 2.5 A
(د) 5 A

تقويم التيار الكهربى المتردد فى المولد الكهربى

* تتطلب كثير من التطبيقات الكهربية استخدام تيار مستمر (DC) وليس تيار متردد (AC)، مثل :

1. عملية التحليل الكهربى واستخلاص بعض العناصر من مركباتها.
2. عملية الطلاء بالكهرباء.
3. محرك التيار المستمر.
4. شحن المراكم وبطاريات التليفون المحمول.

لذلك يتم تحويل التيار المتردد متغير الشدة والاتجاه إلى تيار موحد الاتجاه ثم إلى تيار مستمر ويطلق على هذه العملية **تقويم التيار الكهربى المتردد**،

ويتم ذلك بتحويل دينامو التيار المتردد إلى دينامو تيار مستمر على مرحلتين :

تقويم التيار الكهربى المتردد

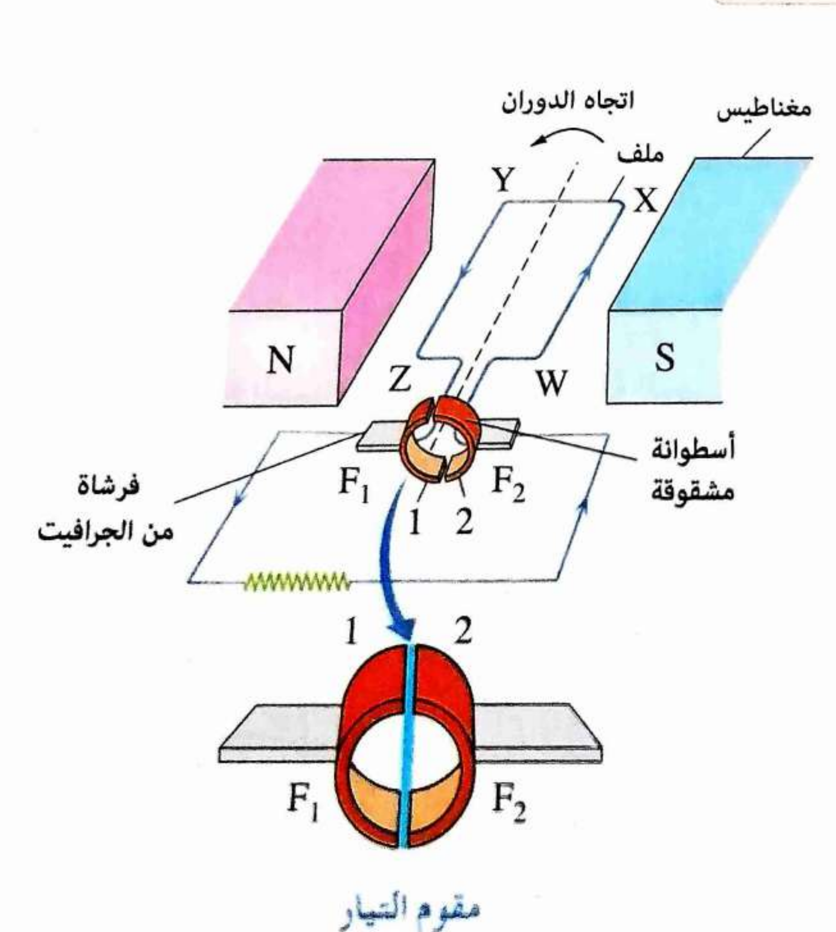
تحويل التيار الكهربى المتردد الناتج من الدينامو إلى تيار موحد الاتجاه ثم إلى تيار مستمر فى الدائرة الخارجية.

1. الحصول على تيار موحد الاتجاه متغير الشدة.
2. الحصول على تيار موحد الاتجاه ثابت الشدة تقريبًا (تيار مستمر تقريبًا).

١ الحصول على تيار موحد الاتجاه متغير الشدة

عن طريق

استبدال الحلقتين المعدنيتين فى دينامو التيار المتردد بمقوم تيار عبارة عن أسطوانة معدنية جوفاء مشقوقة طوليًا إلى نصفين (1 , 2) معزولين تمامًا عن بعضهما بواسطة شق عازل، ويلامس نصفى الأسطوانة (1 , 2) أثناء دورانهما فرشتان (F_1, F_2) ويراعى أن تلامس الفرشتان الشق العازل فى اللحظة التى يكون فيها مستوى الملف عموديًا على خطوط الفيض أى عندما تكون (emf = 0).

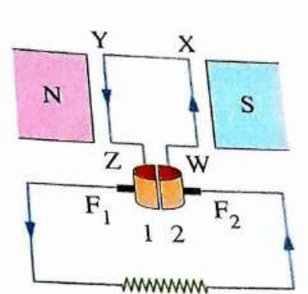


مقوم التيار

شرح العمل

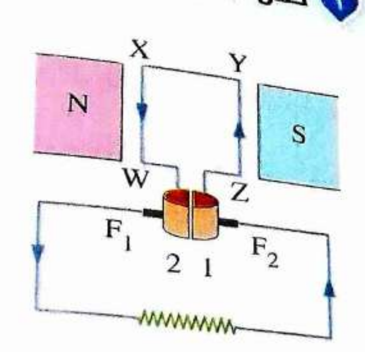
إذا بدأ الملف فى الدوران فى عكس اتجاه دوران عقارب الساعة فإنه :

١ خلال النصف الأول من الدورة



تكون الفرشاة F_1 ملامسة لنصف الأسطوانة (1) فتعمل كقطب موجب، والفرشاة F_2 ملامسة لنصف الأسطوانة (2) فتعمل كقطب سالب.

٢ خلال النصف الثانى من الدورة



تكون الفرشاة F_1 ملامسة لنصف الأسطوانة (2) فتعمل كقطب موجب، والفرشاة F_2 ملامسة لنصف الأسطوانة (1) فتعمل كقطب سالب.

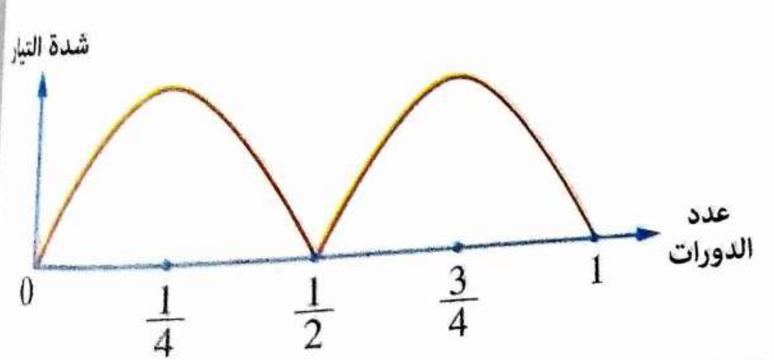
وبالتالى فإن التيار المتولد فى الملف

يمر فى الاتجاه (WXYZ)	يعكس اتجاهه ليمر فى الاتجاه (ZYXW)

فيمر التيار فى الدائرة الخارجية من الفرشاة F_1 إلى الفرشاة F_2

أى فى نفس الاتجاه فى الحالتين

٣ مع استمرار الدوران تظل الفرشاة F_1 موجبة الجهد والفرشاة F_2 سالبة الجهد، لذلك يكون التيار الكهربى والقوة الدافعة الكهربية فى الدائرة الخارجية موحدا الاتجاه ولكن مقدارهما يتغير من الصفر إلى النهاية العظمى ثم إلى الصفر كل نصف دورة من دورات الملف (كما بالشكل).

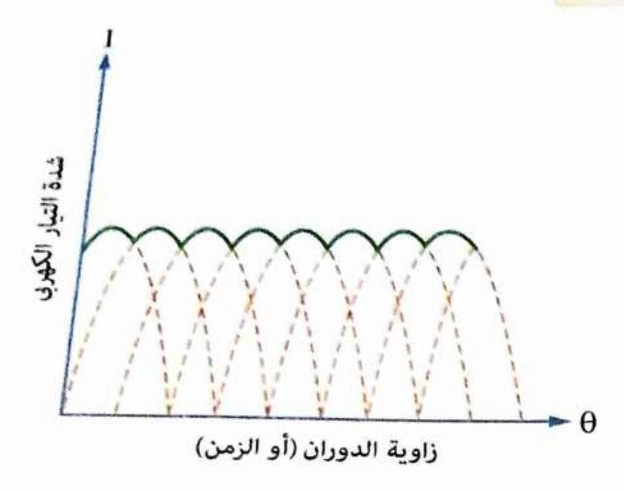


٢ الحصول على تيار موحد الاتجاه ثابت الشدة تقريبًا

فى دينامو التيار المتردد يتم استبدال :

1. الملف بعدة ملفات بينها زوايا صغيرة متساوية.
2. الحلقتين المعدنيتين بأسطوانة معدنية مجوفة مشقوقة إلى عدد من الأجزاء يساوى ضعف عدد الملفات.

حتى تلامس الفرشتان دائمًا جزئى الأسطوانة المتصلين بالملف الموازى لخطوط الفيض المغناطيسى فتصبح قيمة التيار دائمًا نهاية عظمى ويكون ثابت الشدة تقريبًا وبذلك نكون قد حصلنا على تيار مقوم.



31 اختبر نفسك

مُجاب عنها

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

عند استخدام مقوم معدنى بدلاً من الحلقتين المنزلقتين لدينامو تيار متردد يكون ....

	التيار المتولد فى ملف الدينامو	التيار المار فى الدائرة الخارجية
أ	تيار متردد	تيار متردد
ب	تيار موحد الاتجاه	تيار موحد الاتجاه
جـ	تيار متردد	تيار موحد الاتجاه
د	تيار موحد الاتجاه	تيار متردد



الفصل 3

الدرس الرابع

• المحول الكهربى.
• المحرك الكهربى.

فى هذا الدرس سوف نتعرف :

- المحول الكهربى.
- محرك التيار الكهربى المستمر [الموتور].

المحول الكهربى Transformer

الاستخدام

1. رفع أو خفض الجهد الكهربى المتردد.
2. تقليل الفقد فى الطاقة الكهربية أثناء نقلها عبر أسـلاك معدنية من محطات توليدها إلى أماكن استخدامها على مسافات بعيدة.
3. يستخدم فى بعض الأجهزة المنزلية كالأجراس والثلاجات.

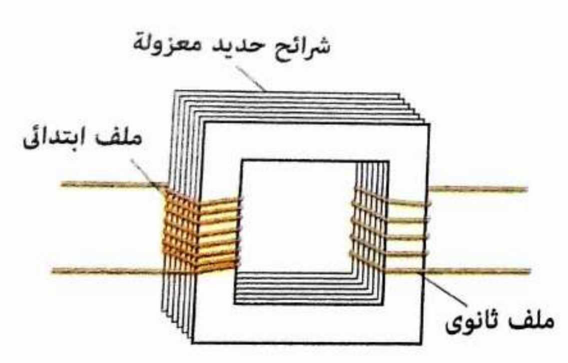
الأساس العلمى (فكرة العمل)

الحث المتبادل بين ملفين.

الأنواع

1. محولات رافعة للجهد تستخدم عند محطات التوليد.
2. محولات خافضة للجهد تستخدم عند محطات التوزيع.

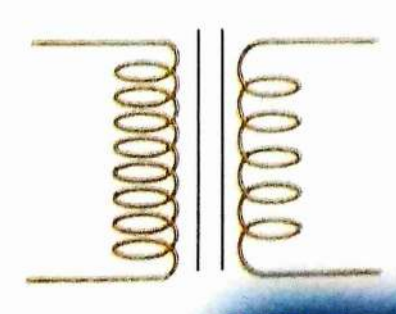
التركيب



1. قلب من الحديد المطاوع السيليكونى على شكل شرائح رقيقة معزولة عن بعضها، **لأن** معامل النفاذية المغناطيسية للحديد كبير فيعمل علـى تركيـز الفيض المغناطيســى ونظـرًا لأن المقاومــة النوعية للحديد المطاوع الســيليكونى كبيرة والقلب على شـكل شـرائح معزولـة عن بعضها فتــزداد مقاومتــه مما يحد من التيارات الدوامية ويقلل من الطاقة الكهربية المفقودة.
2. يلف حول القلب الحـديدى ملفان (ابتدائى وثانوى) مصـنوعان من أسـلاك نحـاسـية، **لصغر** المقاومة النوعيـة للنحـاس فتكون مقاومة الملفـات صغيرة وتقل الطاقة المفقودة فيها على شـكل حرارة وبالتالى تقل القدرة المفقودة فى الأسلاك.



الرمـز



مصدر تيار متردد
ملف ابتدائى
ملف ثانوى

شرح العمل

- يوصل الملف الابتدائى بمصدر التيار المتردد المراد رفع أو خفض جهده، ويوصل الملف الثانوى بالدائرة الكهربية المراد إمدادها بقيمة معينة للجهد.
- عند غلق دائرة كل من الملف الابتدائى والملف الثانوى يمر تيار متردد فى الملف الابتدائى فيتولد حول وبداخله فيض مغناطيسى متغير يعمل القلب الحديدى على تركيزه ليقطع لفات الملف الثانوى.
- نتيجة التغير فى الفيض المغناطيسى الناشئ عن الملف الابتدائى والقاطع للملف الثانوى تتولد emf مستحثة فى الملف الثانوى لها نفس تردد تيار الملف الابتدائى.
- تكون قيمة emf المستحثة أكبر أو أقل من emf للمصدر حسب النسبة بين عدد لفات الملفين الثانوى والابتدائى.

استنتاج العلاقة بين القوتين الدافعتين الكهربيتين فى ملفى المحول المثالى

* **بفرض وجود محول مثالى لا يحدث فيه فقد فى الطاقة، فإذا كان جهد الملف الابتدائى V_p وعدد لفاته N_p والقوة الدافعة المستحثة المتولدة فى الملف الثانوى V_s وعدد لفاته N_s، فإنه :**

- عند اتصال دائرة الملف الابتدائى مع مصدر متردد والإبقاء على دائرة الملف الثانوى مفتوحة تتولد بالحث الذاتى فى الملف الابتدائى emf مستحثة عكسية تساوى تقريبًا emf للمصدر، وبالتالى لا تستهلك قدرة كهربية تذكر فى دائرة الملف الابتدائى :

$$V_p = -N_p \frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} \quad (1)$$

حيث : $\left(\frac{\Delta\phi_m}{\Delta t}\right)$ معدل تغير الفيض الذى يقطع الملف الابتدائى.

- عند غلق دائرة الملف الثانوى مع الإبقاء على دائرة الملف الابتدائى مغلقة يتولد بين طرفى الملف الثانوى قوة دافعة كهربية مستحثة (V_s)،

وبفرض عدم وجود فقد فى الفيض المغناطيسى، فإن معدل تغير الفيض الذى يقطع الملف الابتدائى = معدل تغير الفيض الذى يقطع الملف الثانوى.

$$V_s = -N_s \frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} \quad (2)$$

بقسمة المعادلة (1) على المعادلة (2) :

$$\therefore \frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

فإذا كان

- $N_p < N_s$ تكون القوة الدافعة الكهربية للملف الثانوى **أكبر** من القوة الدافعة الكهربية للملف الابتدائى ويكون المحول **رافع** للجهد.

- $N_p > N_s$ تكون القوة الدافعة الكهربية للملف الثانوى **أقل** من القوة الدافعة الكهربية للملف الابتدائى ويكون المحول **خافض** للجهد.

استنتاج العلاقة بين شدتى التيارين فى ملفى المحول المثالى

• بفرض عدم وجود فقد فى الطاقة الكهربية فى المحول، فإنه تبعًا لقانون بقاء الطاقة :

الطاقة الكهربية المستهلكة فى الملف الابتدائى فى زمن معين = الطاقة الكهربية المتولدة فى الملف الثانوى فى نفس الزمن

$$V_p I_p t = V_s I_s t$$

أى أن قدرة الدخل «للملف الابتدائى» = قدرة الخرج «للملف الثانوى»

$$\therefore V_p I_p = V_s I_s$$

$$\therefore \frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

$$\because \frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

$$\therefore \frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

أى أن النسبة بين شدتى التيار فى الملفين تساوى مقلوب النسبة بين عدد اللفات وكذلك مقلوب النسبة بين القوتين الدافعتين الكهربيتين المتولدتين فى الملفين.

• مما سبق يمكن المقارنة بين المحولين الرافع للجهد والخافض للجهد كالتالى :

	المحول الرافع للجهد	المحول الخافض للجهد
الشكل	شرائح حديد معزولة، ملف ابتدائى، ملف ثانوى، V_p، V_s، N_p، N_s	شرائح حديد معزولة، ملف ابتدائى، ملف ثانوى، V_p، V_s، N_p، N_s
الاستخدام	رفع الجهد الكهربى عند محطات التوليد	خفض الجهد الكهربى عند مناطق التوزيع
عدد اللفات	$N_s > N_p$	$N_p > N_s$
القوة الدافعة الكهربية	$V_s > V_p$	$V_p > V_s$
شدة التيار	$I_p > I_s$	$I_s > I_p$

ملاحظات

* يعتبر المحول الخافض للجهد رافعًا للتيار بينما المحول الرافع للجهد خافضًا للتيار.

لأن القدرة ثابتة، وبالتالى فإن فرق الجهد يتناسب عكسيًا مع شدة التيار تبعًا للعلاقة : $I = \frac{P_w}{V}$

* عند غلق دائرتى الملفين الابتدائى والثانوى لمحول كهربى يمر تيار كهربى فى دائرة الملف الابتدائى وتستهلك قدرة كهربية فيه.

لتولد emf مستحثة فى الملف الثانوى بالحث المتبادل ينشأ عنها مرور تيار مستحث يولد فيض مغناطيسى يقطع الملف الابتدائى ويقاوم التغير فى الفيض المغناطيسى الناشئ عن الملف الابتدائى، وبالتالى تقل emf المستحثة العكسية فى الملف الابتدائى بالحث الذاتى مما يسمح بمرور التيار فيه وبالتالى تستهلك قدرة كهربية فيه.

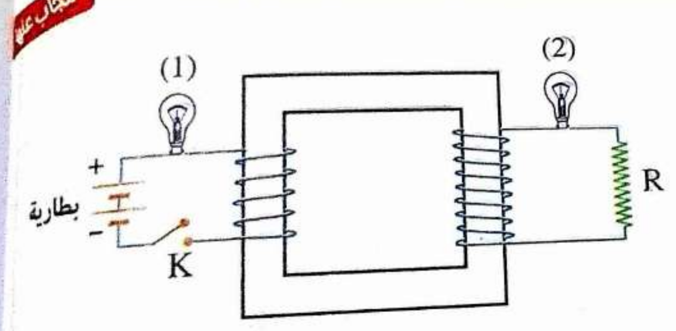
* لا يصلح المحول الكهربى لرفع أو خفض قوة دافعة كهربية مستمرة.

لأن أساس عمل المحول الكهربى هو الحث المتبادل، والفيض المغناطيسى الناشئ عن التيار المستمر ثابت فلا تتولد emf مستحثة فى الملف الثانوى إلا لحظة غلق وفتح الدائرة.

32 اختبر نفسك

مجاب عنه

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :



فى الشكل المقابل مصباحان (1) ، (2) يتصل أحدهما فى دائرة الملف الابتدائى، والآخر فى دائرة الملف الثانوى لمحول كهربى كما بالشكل عند غلق المفتاح K أى المصباحين يتوهج فتيلته باستمرار ؟

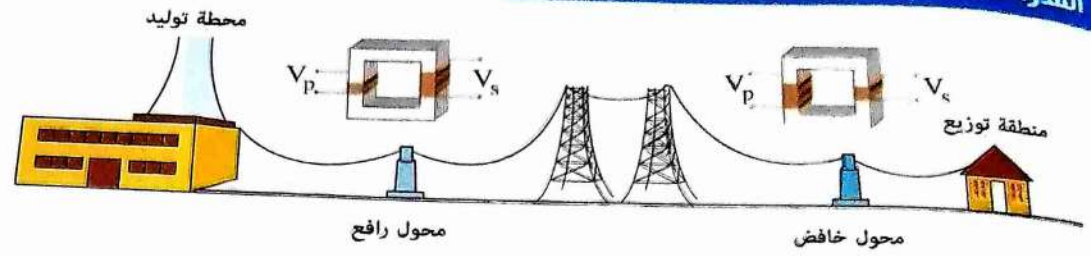
(أ) المصباح (1)

(ب) المصباح (2)

(جـ) كلا المصباحين

(د) ليس أى منهما

القدرة عند محطة التوليد وعند مناطق التوزيع



* **عند محطة التوليد الكهربية :**

- يستخدم المحول الرافع للجهد (خافض للتيار) حتى يتم رفـع الجهـد إلى قيمة عالية عند المحطـة، وبالتالى تقـل قيمـة شـدة التيـار المار فى أسلاك التوصيل إلى قيمـة منخفضـة جدًا مما يقلل من الفقد فى القدرة المستهلكة عبر الأسلاك، ويكون :

القدرة المفقودة فى الأسلاك = $I^2_{eff}\, R$ ، الهبوط فى الجهد = $I_{eff}\, R$

حيث : (R) مقاومة الأسلاك.

أى أن القدرة المستهلكة فى أسلاك التوصيل تتناسب طرديًا مع مربع شدة التيار.

- يساعد انخفاض شدة التيار الخارج من المحطة على نقله عبر أسلاك رفيعة بدلًا من كابلات سميكة وفى ذلك توفير فى تكاليف النقل.

* **عند مناطق التوزيع :**

يستخدم محول خافض للجهد (رافع للتيار) ليصبح فرق الجهد على الملف الثانوى مناسب لتشغيل الأجهزة الكهربية المستخدمة فى المنازل وتكون :

القدرة عند المستهلك (مناطق التوزيع) = القدرة عند محطة التوليد − القدرة المفقودة فى الأسلاك

$$\text{كفاءة النقل} = \frac{\text{القدرة عند منطقة التوزيع}}{\text{قدرة محطة التوليد}} \times 100$$

مثال (١)

محول كهربى خافض مثالى يراد استخدامه لتشغيل مصباح كهربى قدرته 24 W ويعمل بفرق جهد 12 V باستخدام مصدر كهربى متردد قوته الدافعة الكهربية 240 V فإذا كان عدد لفات الملف الثانوى 480 لفة، **احسب :**

(أ) شدة التيار المار فى الملف الثانوى.

(ب) عدد لفات الملف الابتدائى.

الحـــل

$P_w = 24\ W$ $V_s = 12\ V$ $V_p = 240\ V$ $N_s = 480$

$I_s = ?$ $N_p = ?$

(أ) $P_w = V_s I_s$, $I_s = \frac{P_w}{V_s} = \frac{24}{12} = 2\ A$

(ب) $\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}$, $\frac{12}{240} = \frac{480}{N_p}$

$N_p = \frac{480 \times 240}{12} = 9600$ لفة

مثال ٢

نقلت قدرة كهربية مقدارها $4 \times 10^5\ W$ من محطة توليد إلى مصنع خلال خط نقل مقاومته $0.5\ \Omega$ فإذا كان الجهد عند محطة التوليد $2 \times 10^3\ V$، **احسب :**

(أ) شدة التيار فى الخط. **(ب)** الهبوط فى الجهد. **(جـ)** القدرة المفقودة فى الخط.

الحـــل

$P_w = 4 \times 10^5\ W$ $R = 0.5\ \Omega$ $V = 2 \times 10^3\ V$ $I = ?$

القدرة المفقودة فى الخط = ؟ الهبوط فى الجهد = ؟

(أ) $I = \frac{P_w}{V} = \frac{4 \times 10^5}{2 \times 10^3} = 2 \times 10^2\ A$

(ب) الهبوط فى الجهد $= IR = 2 \times 10^2 \times 0.5 = 100\ V$

(جـ) القدرة المفقودة فى الخط $= I^2R = (2 \times 10^2)^2 \times 0.5 = 2 \times 10^4\ W$

33 اختبـــر نفسك

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

عنـد نقـل قـدرة كهربية مقدارها $300\ kW$ من محطة توليد إلى أحد المصانع خلال خط نقل مقاومته $0.8\ \Omega$، فإذا كان الجهد عند المحطة $1200\ V$ فإن ....

	الهبوط فى الجهد	كفاءة النقل
أ	200 V	78.67 %
ب	200 V	83.33 %
جـ	400 V	78.67 %
د	400 V	83.33 %

كفاءة المحول الكهربى

* إذا لم يكن هناك فقد فى القدرة الكهربية خلال المحول،

أى أن القدرة الكهربية المتولدة فى الملف الثانوى تساوى القدرة الكهربية المستهلكة فى الملف الابتدائى تكون كفاءة المحول 100%، ويطلق على هذا المحول صفة المحول المثالى ومثل هذا المحول غير موجود عمليًا.

كفاءة المحول الكهربى (η)

النسبة بين قدرة الملف الثانوى (الخرج) إلى قدرة الملف الابتدائى (الدخل).

أو

النسبة بين الطاقة الكهربية المتولدة فى الملف الثانوى إلى الطاقة الكهربية المستهلكة فى الملف الابتدائى فى نفس الزمن.

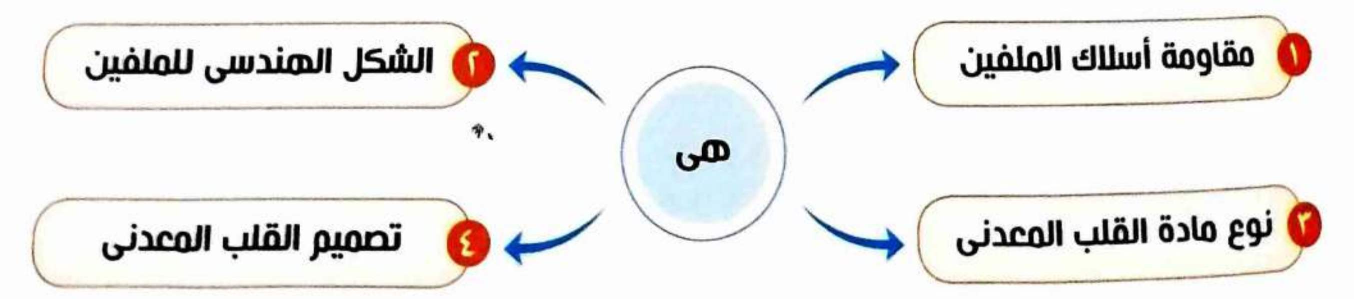
* تتعين كفاءة المحول من العلاقة :

$$\eta = \frac{(P_w)_s}{(P_w)_p} \times 100 = \frac{V_s I_s}{V_p I_p} \times 100 = \frac{V_s N_p}{V_p N_s} \times 100$$

* **أسباب فقد الطاقة الكهربية فى المحول الكهربى وكيفية التقليل منها :**

أسباب فقد الطاقة فى المحول الكهربى	كيفية التقليل منها
١ يتحول جزء من الطاقة الكهربية فى الأسلاك إلى طاقة حرارية.	* صنع الملفات من أسلاك من النحاس حتى تكون مقاومتها أقل ما يمكن.
٢ يتحول جزء من الطاقة الكهربية فى القلب الحديدى إلى طاقة حرارية بسبب التيارات الدوامية.	* صنع القلب الحديدى من شرائح رقيقة معزولة عن بعضها من الحديد المطاوع السيليكونى لكبر مقاومته النوعية.
٣ يتحول جزء من الطاقة الكهربية إلى طاقة ميكانيكية تستهلك فى تحريك الجزيئات المغناطيسية للقلب الحديدى.	* صنع القلب الحديدى من الحديد المطاوع السيليكونى لسهولة حركة جزيئاته المغناطيسية.
٤ تسرب بعض خطوط الفيض فلا تقطع الملف الثانوى.	* يلف الملف الثانوى حول الملف الابتدائى مع عزله عنه حول قلب من الحديد المطاوع السيليكونى.

* **العوامل التى تتوقف عليها كفاءة المحول الكهربى :**



مثال

محـول خافـض الجهـد يخفـض الجهـد الكهربـى مـن 2400 V إلى 120 V وعدد لفات ملفه الابتدائى 4000 لفة، إذا علمت أن القدرة الناتجة من المحول 13500 W وكفاءة المحول 90%، أوجد :

(أ) عدد لفات الملف الثانوى.

(ب) شدة التيار فى الملفين.

الحـل

$V_p = 2400\ V$	$V_s = 120\ V$	$N_p = 4000$	$(P_w)_s = 13500\ W$	$\eta = 90\%$
$N_s = ?$	$I_s = ?$	$I_p = ?$		

(أ)

$$\eta = \frac{V_s N_p}{V_p N_s} \times 100$$

$$90 = \frac{120 \times 4000}{2400 \times N_s} \times 100 \quad , \quad N_s = 222.22 \text{ لفة}$$

(ب)

$$(P_w)_s = V_s I_s \quad , \quad I_s = \frac{(P_w)_s}{V_s} = \frac{13500}{120} = 112.5\ A$$

$$\frac{N_s}{N_p} = \frac{I_p}{I_s} \quad , \quad I_p = \frac{N_s I_s}{N_p} = \frac{222.22 \times 112.5}{4000} = 6.25\ A$$

إرشاد

* فى حالة محول مثالى له ملفان ثانويان فإن :

– عند تشغيل كل جهاز على حدة :

$$\frac{V_p}{(V_s)_1} = \frac{N_p}{(N_s)_1}$$

$$\frac{V_p}{(V_s)_2} = \frac{N_p}{(N_s)_2}$$

– عند تشغيل الجهازين معًا فى نفس الوقت :

$$(P_w)_p = (P_w)_{s1} + (P_w)_{s2}$$

$$V_p I_p = (V_s)_1 (I_s)_1 + (V_s)_2 (I_s)_2$$

مثال

محول كهربى مثالى عدد لفات ملفه الابتدائى 200 لفة ويعمل على تيار متردد قوته الدافعة الكهربية الفعالة 200 V فإذا كان للمحول ملفان ثانويان لتشغيل جهازين الأول راديو (0.5 A , 12 V) والثانى كشاف (1.2 A , 80 V)، احسب :

(أ) عدد لفات الملفين الثانويين.

(ب) شدة التيار المار فى الملف الابتدائى عند تشغيل الجهازين معًا فى نفس الوقت.

الحل

$N_p = 200$	$V_p = 200\ V$	$(I_s)_1 = 0.5\ A$	$(V_s)_1 = 12\ V$	$(I_s)_2 = 1.2\ A$	$(V_s)_2 = 80\ V$
$(N_s)_1 = ?$	$(N_s)_2 = ?$	$I_p = ?$			

(أ)

$$\frac{V_p}{(V_s)_1} = \frac{N_p}{(N_s)_1}$$

$$\frac{200}{12} = \frac{200}{(N_s)_1}$$

$(N_s)_1 = 12$ **لفة**

$$\frac{V_p}{(V_s)_2} = \frac{N_p}{(N_s)_2}$$

$$\frac{200}{80} = \frac{200}{(N_s)_2}$$

$(N_s)_2 = 80$ **لفة**

(ب)

$$(P_w)_p = (P_w)_{s1} + (P_w)_{s2}$$

$$V_p\, I_p = (V_s)_1\,(I_s)_1 + (V_s)_2\,(I_s)_2$$

$$200\, I_p = (12 \times 0.5) + (80 \times 1.2)$$

$$I_p = 0.51\ A$$

19 21:06

إرشاد

* إذا كان المحول غير مثالى $((P_w)_p > (P_w)_s)$ فإنه فى حالة وجود :

– ملف ثانوى واحد :

$$\eta (P_w)_p = (P_w)_s \times 100$$

$$\eta = \frac{V_s I_s}{V_p I_p} \times 100 = \frac{V_s N_p}{V_p N_s} \times 100$$

– ملفين ثانويين :

$$\eta (P_w)_p = ((P_w)_{s1} + (P_w)_{s2}) \times 100$$

مثال

محول كهربى خافض للجهد كفاءته 80% وجهد ملفه الابتدائى 150 V وجهد ملفه الثانوى 8 V ، فإذا كانت شدة التيار فى الملف الابتدائى 0.25 A وعدد لفات الملف الثانوى 70 لفة، **فما** شدة التيار فى الملف الثانوى وعدد لفات الملف الابتدائى ؟

الحل

$\eta = 80\%$ | $V_p = 150\ V$ | $V_s = 8\ V$ | $I_p = 0.25\ A$ | $N_s = 70$

$I_s = ?$ | $N_p = ?$

$$\eta = \frac{V_s \mathbf{I_s}}{V_p I_p} \times 100$$

$$\mathbf{I_s} = \frac{\eta V_p I_p}{V_s \times 100} = \frac{80 \times 150 \times 0.25}{8 \times 100} = \mathbf{3.75\ A}$$

$$\eta = \frac{V_s \mathbf{N_p}}{V_p N_s} \times 100$$

$$\mathbf{N_p} = \frac{\eta V_p N_s}{V_s \times 100} = \frac{80 \times 150 \times 70}{8 \times 100} = \mathbf{1050}$$ **لفة**



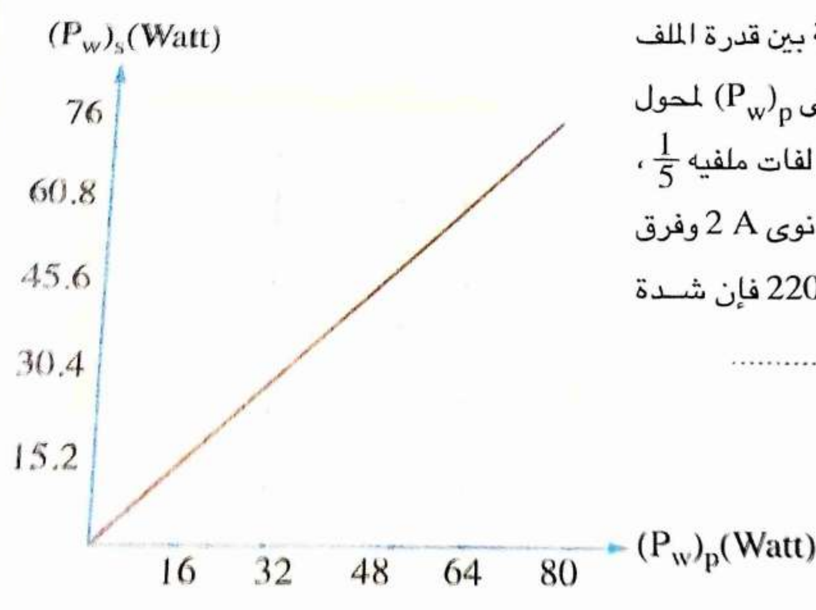
36 اختبـر نفسك

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

1 محـول يسـتخدم لرفـع الجهد الكهربى من 200 V إلـى 430 V والتيار المار فى ملفـه الابتدائى 0.5 A والتيار المار فى ملفه الثانوى 0.2 A، فإن كفاءة هذا المحول تساوى ....

(أ) 75%
(ب) 80%
(جـ) 86%
(د) 100%

2 الشـكل البيانـى المقابل يمثل العلاقـة بين قدرة الملف الثانـوى $(P_w)_s$ وقدرة الملـف الابتدائى $(P_w)_p$ لمحول كهربى خافض للجهد النسبة بين عدد لفات ملفيه $\frac{1}{5}$ ، فإذا كانت شـدة التيار فى الملـف الثانوى 2 A وفرق الجهد بين طرفى الملف الابتدائى 220 V فإن شـدة التيار فى الملف الابتدائى تساوى ....



(أ) 0.1 A
(ب) 0.2 A
(جـ) 0.3 A
(د) 0.4 A

3 الشـكل المقابل يعبر عن محول غير مثالى له ملفان ثانويان يعملان معًا، فإذا كان $(P_w)_p = 100\ W$ ، $(P_w)_{s1} = 50\ W$ فإن ....

N_p ، $(N_s)_1$ ، $(N_s)_2$

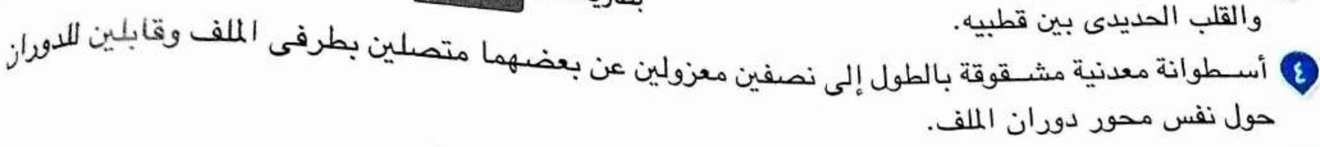
(أ) $(P_w)_{s2} = 50\ W$
(ب) $100\ W > (P_w)_{s2} > 50\ W$
(جـ) $(P_w)_{s2} < 50\ W$
(د) $(P_w)_{s2} > 100\ W$

محرك التيار الكهربى المستمر (الموتور) DC Motor

الاستخدام

تحويل الطاقة الكهربية إلى طاقة ميكانيكية (حركية).

التركيب



١ قلب من الحديد المطاوع، مكون من أقراص رقيقة معزولة عن بعضها، **للحد** من التيارات الدوامية.

٢ ملف مستطيل، يتكون من عدد كبير من لفات سلك نحاس معزول ملفوف حول القلب الحديدى بحيث يكون قابل للدوران حول محور عمودى على المجال.

٣ مغناطيس قوى على شكل حذاء الفرس، يدور الملف والقلب الحديدى بين قطبيه.

٤ أسطوانة معدنية مشقوقة بالطول إلى نصفين معزولين عن بعضهما متصلين بطرفى الملف وقابلين للدوران حول نفس محور دوران الملف.

٥ فرشتان من الجرافيت تلامس كل منهما أحد نصفى الأسطوانة المعدنية.

٦ بطارية يوصل قطبيها بالفرشتين عند تشغيل المحرك الكهربى.

الأساس العلمى (فكرة العمل)

الفكرة

عزم الازدواج الناتج عن مرور تيار كهربى فى ملف قابل للدوران فى مجال مغناطيسى.

الشرح

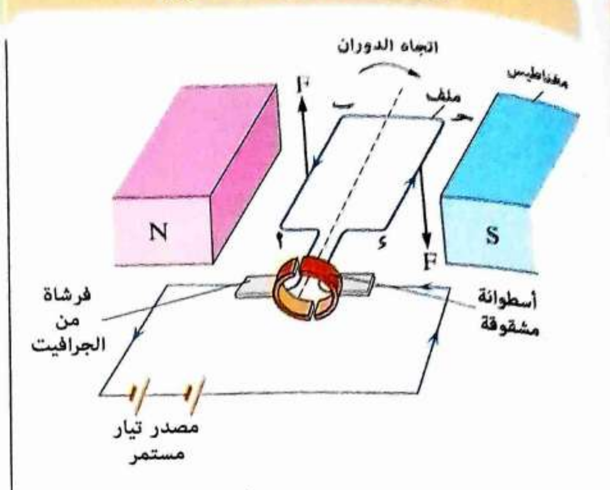
عند مرور تيار كهربى فى الملف تتولد على الضلعين الطوليين له قوتان متوازيتان ومتساويتان فى المقدار ومتضادتان فى الاتجاه فينشأ عنهما ازدواج كل نصف دورة يدير الملف حول محوره ويغير نصفا الأسطوانة المعدنية موضعيهما بالنسبة للفرشتين كل نصف دورة، ويترتب على ذلك أن التيار الكهربى المار فى ملف المحرك الكهربى ينعكس اتجاهه فى الملف كل نصف دورة ليصبح عزم الازدواج فى كل لحظة فى اتجاه واحد.

ملاحظة

* فكرة عمل المحرك الكهربى هى نفسها فكرة عمل الجلفانومتر ذى الملف المتحرك، الاختلاف بينهما أن ملف المحرك الكهربى يجب أن يدور باستمرار فى نفس الاتجاه فتصميم المحرك الكهربى يقتضى أن يغير نصفا الأسطوانة المعدنية موضعيهما بالنسبة للفرشتين كل نصف دورة ويترتب على هذا أن التيار الكهربى المار فى ملف المحرك يعكس اتجاهه فى الملف كل نصف دورة، بينما فى الجلفانومتر يتغير اتجاه عزم الازدواج المؤثر على الملف بتغير اتجاه مرور التيار فى ملفه.

شرح عمل الموتور خلال دورة كاملة

فى النصف الأول من الدورة



- عندما يكون مستوى الملف موازيًا للفيض تلامس فرشتا الجرافيت نصفى الأسطوانة فيمر تيار فى الملف وتتولد قوتان مغناطيسيتان عموديتان على ضلعى الملف (أب ، حـ ء) فى اتجاهين متضادين ينتج عنهما عزم ازدواج يسبب دوران الملف (كما بالشكل).
- مع استمرار دوران الملف يقل عزم الازدواج تدريجيًا حتى ينعدم عندما يصبح مستوى الملف عموديًا على الفيض فتلامس الفرشتان المادة العازلة وينقطع التيار إلا أن الملف يستمر فى الدوران.

بسبب

القصور الذاتى ليعبر الوضع العمودى وفى تلك اللحظة يتبدل وضع الأسطوانة بالنسبة للفرشتين وينعكس اتجاه التيار ثم يزداد عزم الازدواج تدريجيًا مرة أخرى حتى يصل لقيمته العظمى عندما يصل الملف للوضع الموازى.

فى النصف الثانى من الدورة

اتجاه الدوران
مغناطيس
ملف
F
N
S
فرشتان من الجرافيت
أسطوانة مشقوقة
مصدر تيار مستمر

- يصبح مستوى الملف موازيًا للفيض مرة أخرى ويكون نصفا الأسطوانة قد تبادلا موضعيهما مع الفرشتين وانعكس اتجاه التيار المار فى الملف ويكون عزم الازدواج قيمة عظمى يعمل على استمرار دوران الملف فى نفس الاتجاه الدائرى السابق.
- مع استمرار دوران الملف يقل عزم الازدواج تدريجيًا حتى ينعدم عندما يكون مستوى الملف عموديًا على خطوط الفيض مرة أخرى ويستمر الملف فى الدوران.

القصور الذاتى حتى يكمل دورته ويصبح موازيًا للفيض ويتكرر ذلك كل دورة كاملة للملف.

القوة الدافعة الكهربية العكسية فى الموتور

تتولد قوة دافعة كهربية مستحثة عكسية فى ملف الموتور أثناء دورانه بسبب قطعه لخطوط الفيض المغناطيسى تعمل هذه القوة الدافعة المستحثة على انتظام سرعة دوران الملف.

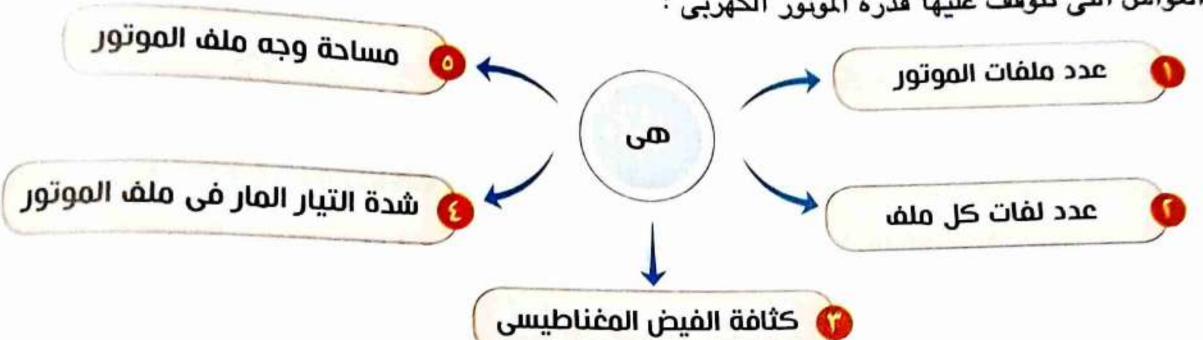
كيفية زيادة كفاءة دوران المحرك الكهربى

١ استخدام مجموعة من الملفات بينها زوايا صغيرة متساوية مع تقسيم الأسطوانة المعدنية إلى عدد من الأجزاء يساوى ضعف عدد الملفات،

للاحظ بعزم دوران ثابت عند النهاية العظمى حيث يتواجد دائمًا ملف موازيًا للفيض المغناطيســى فيتأثر بأكبر عزم ازدواج وهكذا تدور الملفات بسرعة أكبر.

٢ استخدام مغناطيس على شكل حذاء الفرس مقعر القطبين.

* **العوامل التى تتوقف عليها قدرة الموتور الكهربى :**



35 اختبــر نفسك

مجاب عنها

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

١ الشــكل المقابل يمثل أحد أوضاع الأســطوانة المعدنية المشقوقة بالنسبة لفرشتى الجرافيت فى الموتور، فيكون مقدار عزم الازدواج المتولد فى هذا الوضع ....

(أ) قيمة عظمى
(ب) $\frac{1}{2}$ القيمة العظمى
(جـ) $\frac{2}{3}$ القيمة العظمى
(د) صفر

٢ الشــكل المقابل يمثل ملف موتور يدور من هذا الوضع مع عقارب الســاعة فإن اللحظة التى ينعدم فيها التيار المــار فى الملف تكون بعد دوران الملف من هذا الوضع زاوية قدرها ....

B

60°

(أ) 60°
(ب) 90°
(جـ) 120°
(د) 150°

* مما سبق يمكن تلخيص تركيب واستخدام كل من مولد التيار الكهربى المتردد والمحول الكهربى والمحرك الكهربى كالتالى :

	التركيب	الاستخدام
مولد التيار الكهربى المتردد (الدينامو)	* مغناطيس ثابت (دائم أو كهربى). * ملف يتكون من لفة واحدة أو عدة لفات موضوع بحيث يكون قابل للدوران حول محور عمودى على المجال. * حلقتا انزلاق معدنيتان تتصلان بنهايتى الملف وتدوران مع دوران الملف. * فرشتان من الجرافيت تلامس كل منهما إحدى الحلقتين المنزلقتين.	تحويل الطاقة الميكانيكية (الحركية) إلى طاقة كهربية
المحول الكهربى	* قلب من الحديد المطاوع السيليكونى على شكل شرائح رقيقة معزولة عن بعضها. * ملفان (ابتدائى وثانوى) مصنوعان من أسلاك نحاسية وملفوفان حول قلب الحديد.	* رفع أو خفض الجهد الكهربى المتردد. * تقليل الفقد فى الطاقة الكهربية أثناء نقلها عبر أسلاك معدنية من محطات توليدها إلى أماكن استخدامها على مسافات بعيدة. * فى بعض الأجهزة المنزلية كالأجراس والثلاجات.
المحرك الكهربى (الموتور)	* قلب من الحديد المطاوع مكون من شرائح رقيقة معزولة عن بعضها. * ملف مستطيل يتكون من عدد كبير من لفات سلك نحاس معزول ملفوف حول القلب الحديدى بحيث يكون قابل للدوران حول محور عمودى على المجال. * مغناطيس قوى على شكل حذاء الفرس قطبيه مقعرين، يدور الملف والقلب الحديدى بين قطبيه. * أسطوانة معدنية مشقوقة بالطول إلى نصفين معزولين عن بعضهما متصلين بطرفى الملف وقابلين للدوران حول نفس محور دوران الملف. * فرشتان من الجرافيت تلامس كل منهما أحد نصفى الأسطوانة المعدنية. * بطارية يوصل قطبيها بالفرشتين.	تحويل الطاقة الكهربية إلى طاقة ميكانيكية (حركية)

الوحدة الأولى

الكهربية التيارية والكهرومغناطيسية

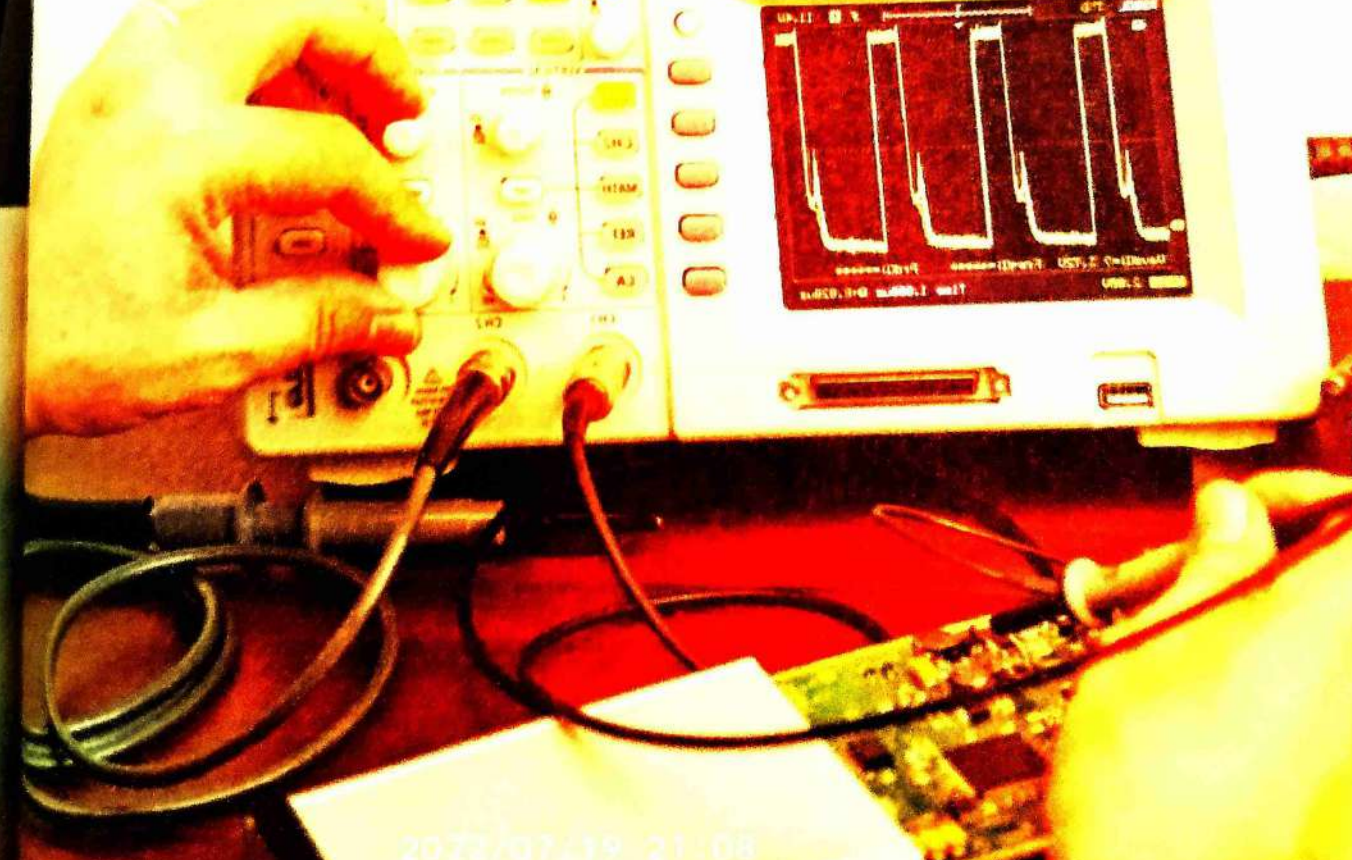
الفصل 4

دوائر التيار المترد

الدرس الأول

الدرس الثاني

الدرس الثالث



الفصل 4

الدرس الأول

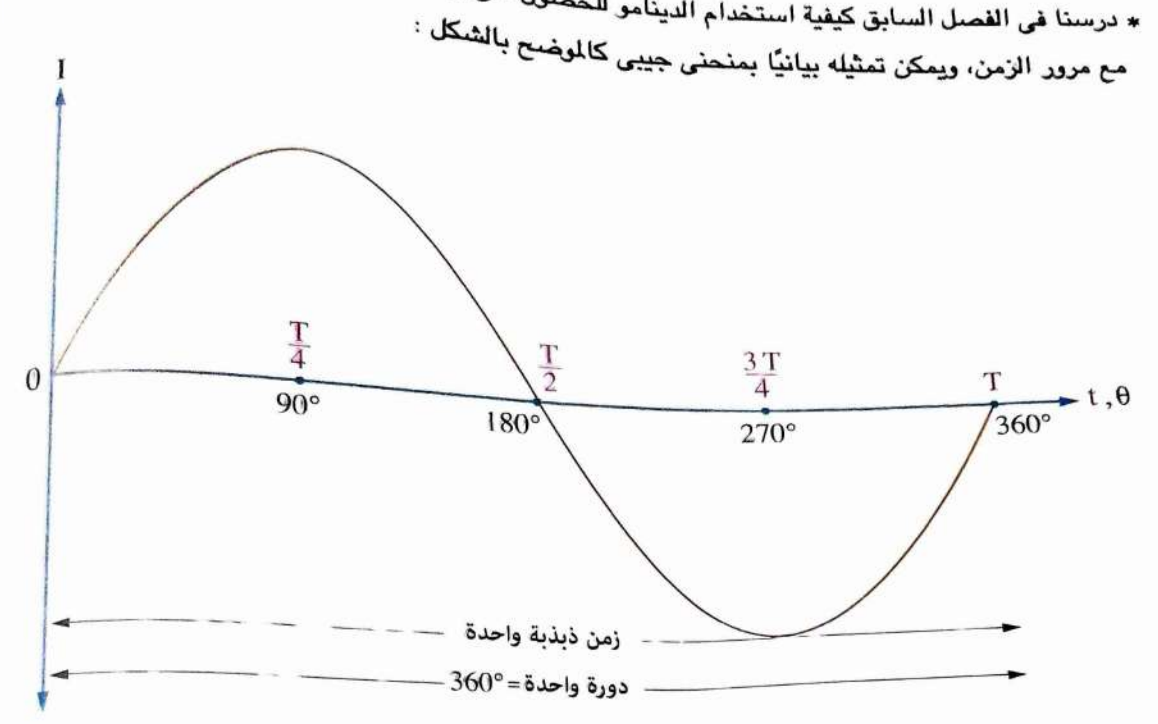
دوائر التيار المتردد



فى هذا الدرس سوف نتعرف :

- خصائص التيار المتردد.
- الأميتر الحرارى.
- دائرة تيار متردد تحتوى على مقاومة أومية.
- دائرة تيار متردد تحتوى على ملف حث مهمل المقاومة الأومية.
- المكثف الكهربى.
- دائرة تيار متردد تحتوى على مكثف.

* درسنا فى الفصل السابق كيفية استخدام الدينامو للحصول على تيار متردد يتغير كل من شدته واتجاهه دوريًا مع مرور الزمن، ويمكن تمثيله بيانيًا بمنحنى جيبى كالموضح بالشكل :



أى أن قيمة واتجاه كل من شدة التيار المتردد والقوة الدافعة الكهربية تتغير تبعًا للعلاقتين :

$$V = V_{max} \sin \theta \quad , \quad I = I_{max} \sin \theta$$

خصائص التيار المتردد

1. يمكن رفع أو خفض القوة الدافعة الكهربية للتيار المتردد حسب الحاجة وذلك باستخدام المحولات الكهربية.
2. يمكن نقل الطاقة الكهربية لمسافات بعيدة من مصادر التوليد إلى أماكن الاستهلاك عبر الأسلاك دون فقد يذكر فى الطاقة الكهربية وذلك بعد رفع جهدها باستخدام المحولات.
3. يمكن تحويله لتيار مستمر (تقويمه).
4. يصلح لبعض الأغراض مثل الإضاءة والتسخين ولكنه لا يصلح لأغراض أخرى كالتحليل الكهربى والطلاء بالكهرباء حيث يستخدم التيار المستمر.
5. له أثر حرارى عند مروره فى مقاومة أومية ولا يتوقف هذا الأثر على اتجاه التيار.

الأميتر الحرارى Hot Wire Ammeter

تعتمد فكرة عمل الأميتر ذو الملف المتحرك على عزم الازدواج المؤثر على ملفه والناشئ عن المجال المغناطيسي المنتظم (ثابت الشدة والاتجاه) الناتج عن مرور التيار الكهربى فى الملف وحيث إن المجال الناشئ عن مرور التيار المتردد يكون متغير الشدة والاتجاه فيتغير اتجاه عزم الازدواج كل نصف دورة ويمنع القصور الذاتى للملف الاستجابة لهذا التغير، وبالتالى لا يصلح هذا الجهاز فى قياس القيمة الفعالة للتيار المتردد.

لذلك يعتمد قياس القيمة الفعالة للتيار المتردد على التأثير الحرارى له وهى خاصية لا تعتمد على اتجاه التيار، ولذلك يستخدم الأميتر الحرارى فى قياس شدة التيار المتردد.

الاستخدام

قياس القيمة الفعالة لشدة التيار المتردد وقياس شدة التيار المستمر.

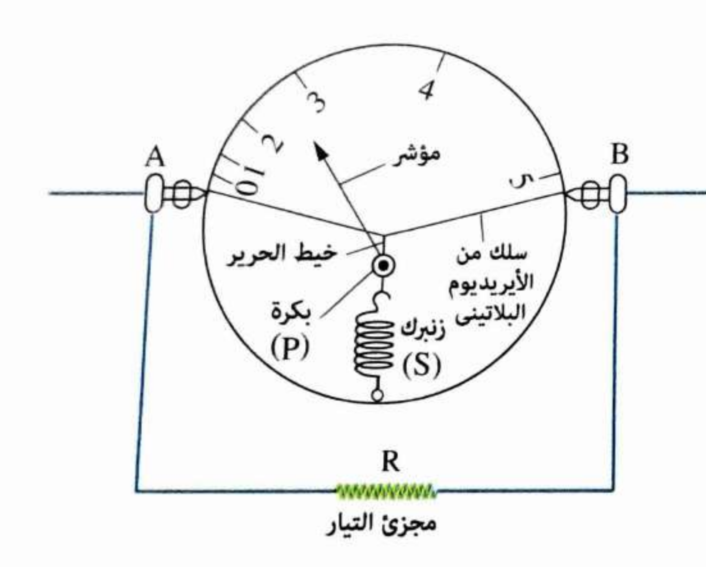
الأساس العلمى (فكرة العمل)

- **الفكرة** : التأثير الحرارى للتيار الكهربى.
- **الشرح** : يولد التيار الكهربى (المتردد أو المستمر) عند مروره فى مقاومة أومية (سلك الأيريديوم والبلاتين) لفترة زمنية معينة كمية من الحرارة يتوقف مقدارها على القيمة الفعالة للتيار المار.

التوصيل فى الدائرة الكهربية

يوصل الأميتر الحرارى على التوالى فى الدائرة الكهربية، **حتى** يمر به التيار المراد قياس قيمته الفعالة.

التركيب



١. مسمارين A ، B يشد بينهما سلك رفيع ويصنع هذا السلك من سبيكة الأيريديوم والبلاتين **حتى** يسخن السلك ويتمدد بمقدار محسوس عند مرور تيار كهربى فيه.

٢. يتصل السلك من منتصفه بطرف خيط حرير يلف لفة واحدة حول بكرة (P).

٣. يشد الخيط الحريرى بواسطة زنبرك (S) مثبت من طرفه الآخر بحيث يكون الخيط الحريرى مشدود دائماً.

٤. يثبت على البكرة مؤشر يتحرك طرفه على تدريج غير منتظم لقياس القيمة الفعالة للتيار.

٥. يوصل سلك الأيريديوم البلاتينى على التوازى بمقاومة R صغيرة جدًا، **حتى** تعمل كمجزئ للتيار فيمر بسلك الأيريديوم البلاتينى تيار كهربى مناسب مما يسمح بزيادة مدى الجهاز والتقليل من المقاومة الكلية للأميتر، وبالتالى لا تؤثر على المقاومة الكلية للدائرة أو القيمة الفعالة للتيار المار بها عند توصيل الجهاز فى الدائرة.

عند مرور التيار الكهربى المراد قياس قيمته الفعالة فى سلك الأبريديوم البلاتينى تتولد فيه كمية من الحرارة

شرح العمل

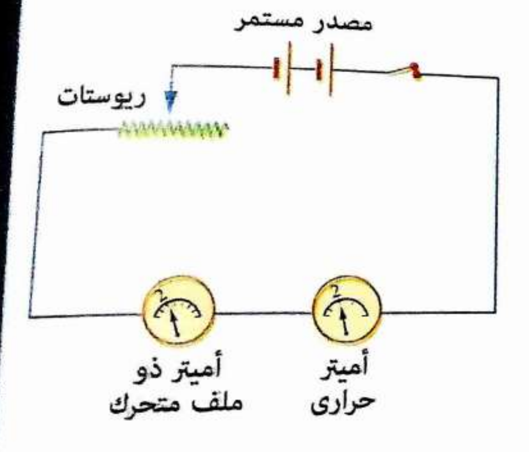
١. عند مرور التيار الكهربى المراد قياس قيمته الفعالة فى سلك الأبريديوم البلاتينى تتولد فيه كمية من الحرارة فيسخن السلك ويتمدد ويرتخى.
٢. يقوم خيط الحرير بشد السلك فتدور البكرة ويتحرك المؤشر على التدريج.
٣. تؤخذ قراءة التدريج عند ثبات المؤشر وذلك عندما تتساوى كمية الحرارة المتولدة فى السلك فى زمن معين مع كمية الحرارة المفقودة منه فى نفس الزمن فتثبت درجة حرارته ويقف تمدده فيثبت المؤشر على قراءة تعبر عن القيمة الفعالة للتيار المتردد.
٤. عند قطع التيار عن الدائرة يبرد السلك تدريجيًا وينكمش فيجذب خيط الحرير ليعود المؤشر ببطء لصفر التدريج.

العيوب

١. عند مرور تيار كهربى فى الجهاز يتحرك مؤشره ببطء حتى يثبت وعند قطع التيار عنه يعود إلى الصفر ببطء.
٢. يتأثر سلك الأيريديوم البلاتينى بحرارة الجو ارتفاعًا وانخفاضًا وذلك يسبب خطأ فى دلالة الأميتر يسمى الخطأ الصفرى، **وللتغلب على هذا العيب** يشد السلك على لوحة من مادة لها نفس معامل تمدد مادة السلك مع عزله عنها.

طريقة المعايرة

يمكن معايرة الأميتر الحرارى عن طريق توصيله بمصدر تيار مستمر وريوستات وأميتر ذو ملف متحرك كما بالشكل المقابل، بحيث :



١. عندما يمر تيار معين فى الدائرة فإن مؤشر كل من الأميتر الحرارى والأميتر ذو الملف المتحرك يشير إلى قيمة هذا التيار، تؤخذ قراءة مؤشر الأميتر ذو الملف المتحرك وتُسجل على الموضع الذى يشير إليه مؤشر الأميتر الحرارى.
٢. تكرر العملية السابقة لقيم مختلفة لشدة التيار وذلك من خلال تغيير المقاومة المأخوذة من الريوستات حتى يكتمل تدريج الأميتر الحرارى.

ملاحظة

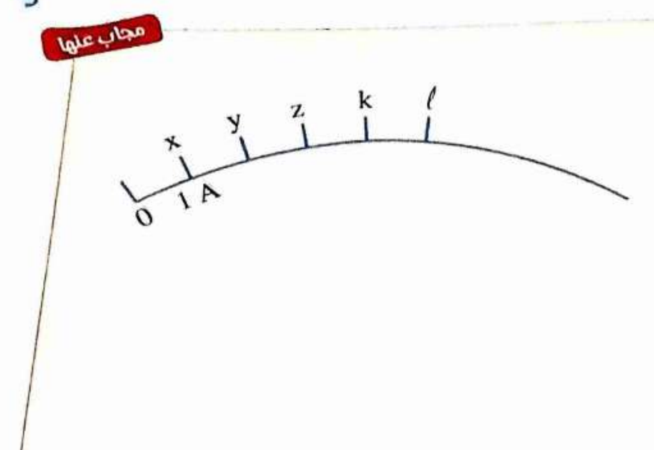
* **تدريج الأميتر الحرارى غير منتظم وأقسامه ليست متساوية بل يزداد اتساعها كلما زادت شدة التيار،**
لأن كمية الحرارة المتولدة فى السلك خلال زمن معين تتناسب طرديًا مع مربع شدة التيار المار به (I^2).

36 اختبـر نفسـك

مجاب عنها

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

الشكل المقابل يوضح أقسام متساوية على تدريج أميتر حرارى إذا كانت القيمة 1 A عند الموضع x، أين يتم وضع القيمة 2 A على تدريج الأميتر ؟



(أ) عند الموضع y

(ب) عند الموضع z

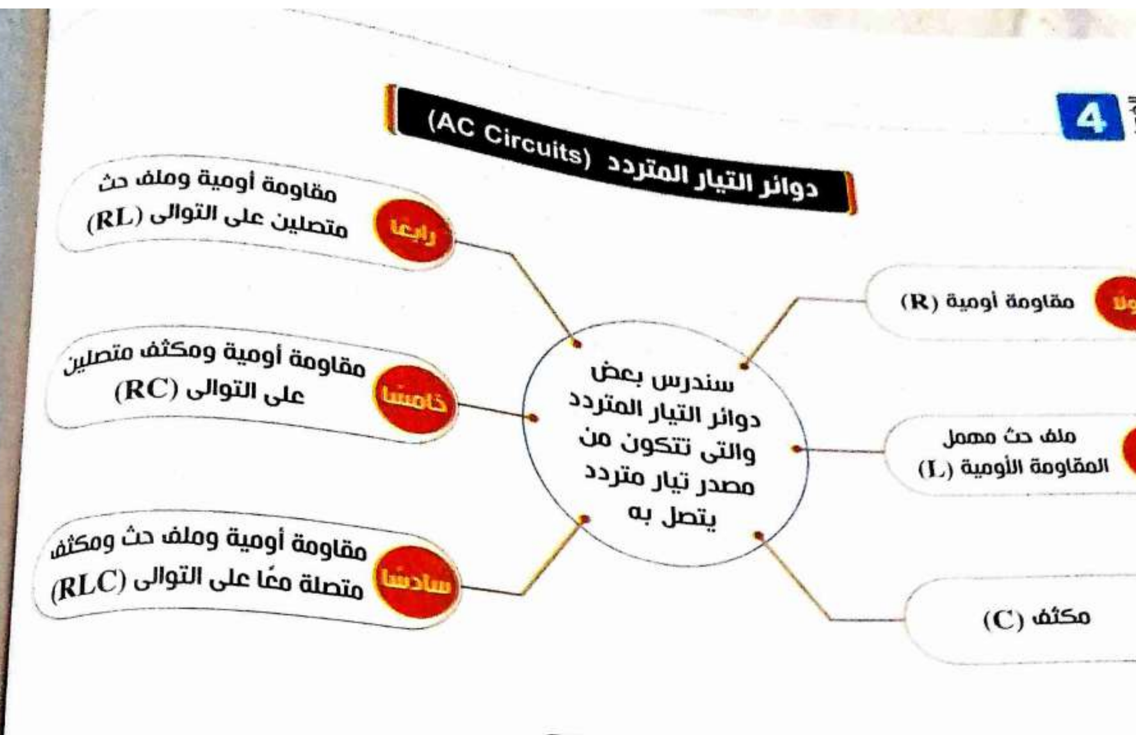
(جـ) عند الموضع k

(د) عند الموضع ℓ

* مما سبق يمكن المقارنة بين الأميتر الحرارى و الأميتر ذو الملف المتحرك كالتالى :

	الأميتر الحرارى	الأميتر ذو الملف المتحرك
فكرة العمل (سبب حركة المؤشر على التدريج)	التأثير الحرارى للتيار الكهربى (تمدد سلك الأيريديوم البلاتينى نتيجة مرور التيار الكهربى فيه)	التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى (عزم الازدواج المؤثر على ملف موضوع فى مجال مغناطيسى عند مرور تيار كهربى فيه)
الاستخدام	قياس شدة التيار المستمر والقيمة الفعالة للتيار المتردد	قياس شدة التيار المستمر فقط
التدريج	غير منتظم	منتظم
التأثر بدرجة حرارة الجو	تتأثر قراءته بدرجة حرارة الجو المحيط	لا تتأثر قراءته بدرجة حرارة الجو المحيط
حركة المؤشر	يتحرك ببطء عند إمرار التيار أو عند انقطاعه	يتحرك بسرعة عند إمرار التيار أو عند انقطاعه
شرط اتزان المؤشر	كمية الحرارة المتولدة فى السلك فى زمن معين = كمية الحرارة المفقودة منه فى نفس الزمن	عزم الازدواج المغناطيسى المؤثر على ملف الجلفانومتر = عزم اللىّ المتولد على الملفين الزنبركيين

دوائر التيار المتردد (AC Circuits)



أولًا دائرة تيار متردد تحتوى على مقاومة أومية R

* عند توصيل مقاومة أومية ومصدر تيار متردد ومفتاح على التوالى كما بالشكل التالى فإنه :

– عند غلق الدائرة يكون فرق الجهد بين طرفى المقاومة (R) :

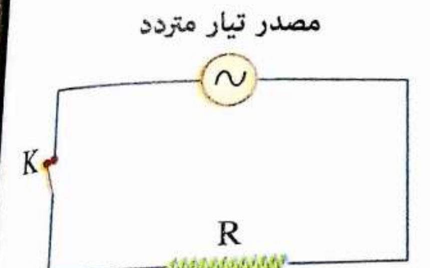
$$V = V_{max} \sin \theta = V_{max} \sin \omega t \quad (1)$$

حيث : (V) القيمة اللحظية لفرق الجهد،

(V_{max}) القيمة العظمى لفرق الجهد،

(θ) زاوية الطور ($\theta = \omega t$)،

(ω) السرعة الزاوية ($\omega = 2\pi f$).



– طبقًا لقانون أوم تتعين شدة التيار اللحظية من العلاقة :

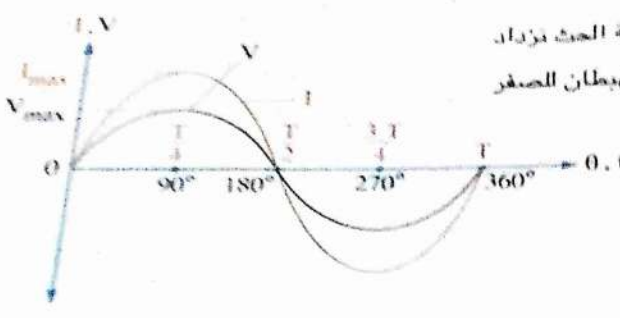
$$I = \frac{V}{R}$$

$$\therefore I = \frac{V_{max}}{R} \sin \omega t$$

$$\therefore I = I_{max} \sin \omega t \quad (2)$$

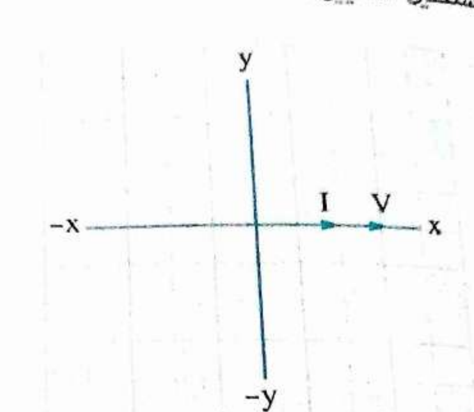
بمقارنة المعادلتين (1) ، (2) نجد أن

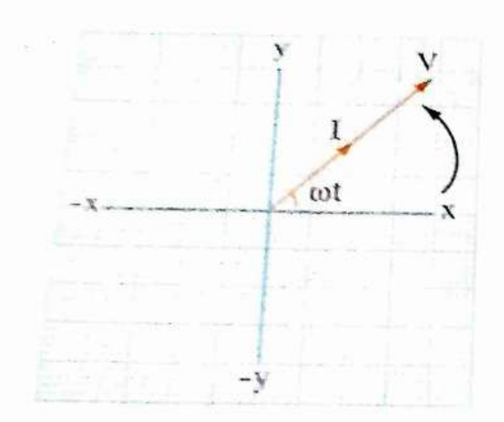
فرق الجهد وشدة التيار فى مقاومة أومية عديمة الحث تزداد قيمتهما معًا حتى يصلا إلى القيمة العظمى ثم يهبطان الصفر معًا،



أى أن الجهد والتيار متفقان فى الطور كما هو موضح بالشكل البيانى المقابل.

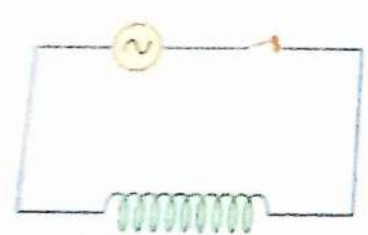
* يمكن تمثيل التيار وفرق الجهد فى مقاومة عديمة الحث بمتجهين لهما نفس الاتجاه كما فى الشكلين التاليين :

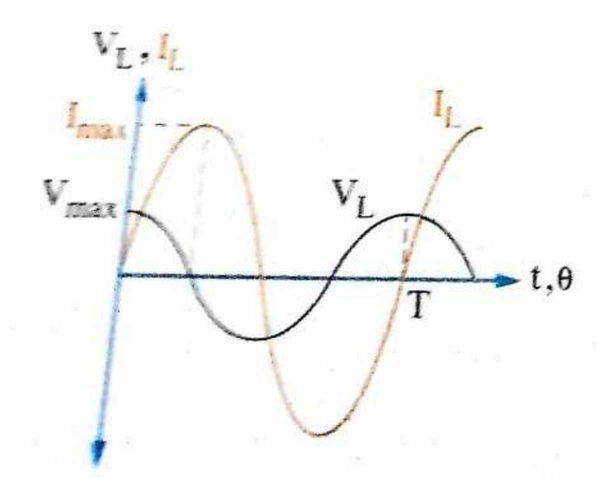


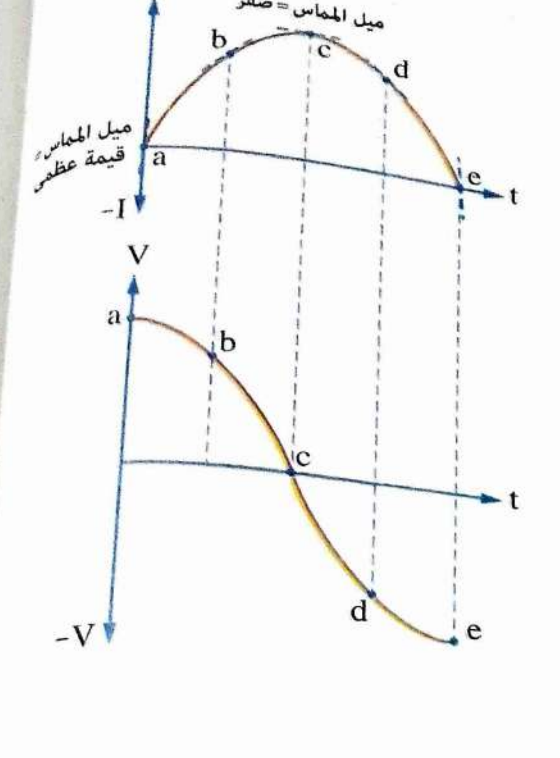


ثانيًا دائرة تيار متردد تحتوى على ملف حث مهمل المقاومة الأومية L

* عند توصيل ملف حث عديم المقاومة الأومية معامل حثه الذاتى L ومصدر تيار متردد ومفتاح على التوالى (كما بالشكل) يتولد فى الملف قوة دافعة كهربية مستحثة تحسب قيمتها من العلاقة $\left(V_L = L\frac{\Delta I_L}{\Delta t}\right)$ وتبعًا للعلاقة $(I_L = I_{max} \sin \omega t)$ فإن شدة التيار تتغير مع زاوية الطور على صورة منحنى جيبى (كما بالشكل)، ويمثل $\left(\frac{\Delta I_L}{\Delta t}\right)$ ميل المماس لهذا المنحنى عند أى نقطة حيث :

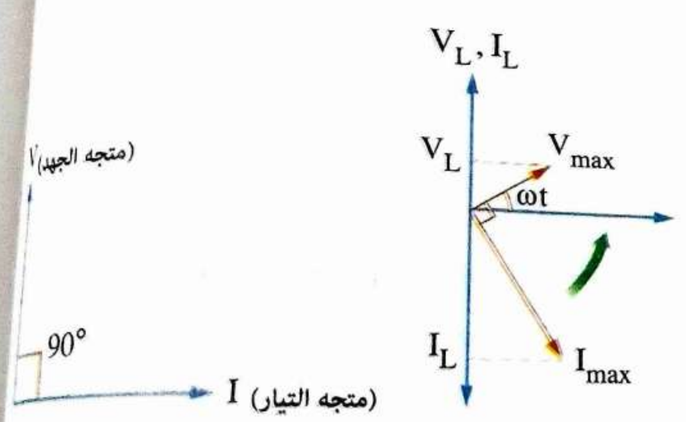






1. عندما تكون قيمة شدة التيار (I_L) مساوية للصفر تكون قيمة هذا الميل نهاية عظمى وبذلك تكون قيمة فرق الجهد (V_L) نهاية عظمى.
2. بزيادة شدة التيار تقل قيمة الميل تدريجيًا وتقل قيمة فرق الجهد حتى تصل شدة التيار إلى القيمة العظمى فتنعدم قيمة الميل وبذلك تكون قيمة فرق الجهد مساوية للصفر.
3. عندما تقل شدة التيار تصبح قيمة الميل مقدارًا سالبًا وتزداد تدريجيًا فتزداد قيمة فرق الجهد فى الاتجاه السالب حتى تصل إلى نهايتها العظمى عندما تصل شدة التيار للصفر.

* مما سبق يتضح أن التيار يتأخر عن الجهد فى الطور بمقدار $\frac{1}{4}$ دورة أى بزاوية 90° بسبب الحث الذاتى للملف.



أى أن شدة التيار المار فى الملف عند أى لحظة تتعين من العلاقة : $I = I_{max} \sin \omega t$

ويتعين فرق الجهد بين طرفى الملف فى نفس اللحظة من العلاقة : $V = V_{max} \sin (\omega t + 90)$

المفاعلة الحثية

* يلاحظ أن القوة الدافعة الكهربية المستحثة العكسية بالحث الذاتى فى الملف مهمل المقاومة الأومية تسبب نوعًا من الممانعة لمرور التيار الأصلى تسمى المفاعلة الحثية (X_L).

المفاعلة الحثية (X_L)

الممانعة التى يلقاها التيار المتردد فى الملف بسبب حثه الذاتى.

* تتعين المفاعلة الحثية من العلاقة :

$$X_L = \omega L = 2\pi f L$$

تقاس المفاعلة الحثية بوحدة الأوم (Ω)

العوامل التى تتوقف عليها المفاعلة الحثية لملف حث

(١) تردد التيار :
المفاعلة الحثية لملف حث تتناسب طرديًا مع تردد التيار.

$$slope = \frac{\Delta X_L}{\Delta f} = 2\pi L$$

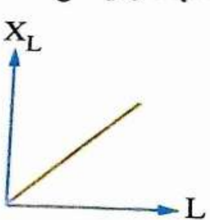
أو

السرعة الزاوية :
المفاعلة الحثية لملف حث تتناسب طرديًا مع السرعة الزاوية.

$$slope = \frac{\Delta X_L}{\Delta \omega} = L$$

$$X_L = \omega L = 2\pi f L$$

(٢) معامل الحث الذاتى للملف :
المفاعلة الحثية لملف حث تتناسب **طرديًا** مع معامل الحث الذاتى للملف.



$$slope = \frac{\Delta X_L}{\Delta L} = \omega = 2\pi f$$

$$I = \frac{V_L}{X_L}$$

مما سبق نستنتج أن :

- **شدة التيار المتردد المار فى ملف حث مهمل المقاومة تتعين من العلاقة :**
- **قيمة المفاعلة الحثية (X_L) لا تعتمد على قيمة كل من فرق الجهد بين طرفى الملف (V_L) وشدة التيار المار به (I).**
- **عند الترددات العالية جدًا يكاد ينعدم مرور التيار المتردد فى ملف الحث،**

لأن المفاعلة الحثية للملف (X_L) تتناسب طرديًا مع تردد التيار تبعًا للعلاقة $(X_L = 2\pi f L)$ ولذلك عند الترددات العالية جدًا تصبح قيمة X_L كبيرة جدًا فتقل قيمة التيار جدًا وتعتبر الدائرة مفتوحة.

(f = 0) فلا تتولد أى قوة دافعة

- المفاعلة الحثية لملف يمر به تيار مستمر تساوى صفر،

لأن التيار المستمر ثابت الشدة وموحد الاتجاه فيكون تردده مساويًا للصفر $(X_L = 2\pi f L)$ تصبح قيمة المفاعلة الحثية مساوية للصفر. كهربية مستحثة عكسية وتبعًا للعلاقة

ملاحظات

- عند توصيل دينامو تيار متردد مقاومته الأومية مهملة بملف حث عديم المقاومة الأومية وتغيير تردد ملف الدينامو فإن قيمة شدة التيار العظمى لا تتغير لأنها لا تعتمد على تردد دوران ملف الدينامو حيث إنها تحسب من العلاقة :

$$I_{max} = \frac{V_{max}}{X_L} = \frac{NBA\omega}{\omega L} = \frac{NBA}{L}$$

- تختلف المفاعلة الحثية عن المقاومة الأومية فى الآتى :
- المفاعلة الحثية لملف مهمل المقاومة لا تسبب فقد فى الطاقة الكهربية،

لأن الممانعة لمرور التيار تكون بواسطة القوة الدافعة الكهربية المستحثة العكسية المتولدة فى الملف ويقوم الملف بتخزين الطاقة الكهربية على صورة مجال مغناطيسى ثم يعيد إعطائها للمصدر دون فقد فى الطاقة.

- المقاومة الأومية لملف تسبب فقد فى الطاقة الكهربية فى صورة طاقة حرارية.

- تتعين قيمة معامل الحث الذاتى (L) لملف لولبى من العلاقة :

$$L = \frac{\mu A N^2}{\ell}$$

مثال ١

ملف حثه الذاتى 700 mH مهمل المقاومة الأومية وصل بمصدر متردد قوته الدافعة 200 V وتردده 50 Hz.

احسب شدة التيار المار فى الملف.

الحل

$L = 700 \times 10^{-3}$ H | $V = 200$ V | $f = 50$ Hz | $I = ?$

$$X_L = 2\pi f L = 2 \times \frac{22}{7} \times 50 \times 700 \times 10^{-3} = 220\ \Omega$$

$$I = \frac{V}{X_L} = \frac{200}{220} = \mathbf{0.91\ A}$$

مثال ٢

ملف حث طوله $25\ \pi$ cm يتكون من 5000 لفة مساحة مقطع كل منها $10\ cm^2$، متصل بدينامو تيار متردد عديم المقاومة الأومية ويدور ملفه بمعدل 50 دورة/ث، فإذا كانت القوة الدافعة الكهربية العظمى لملف الدينامو $150\sqrt{2}$ V، **احسب** القيمة الفعالة لشدة التيار المار فى دائرة الملف. (علمًا بأن : $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m)

الحل

$\ell = 25\ \pi$ cm | $N = 5000$ | $A = 10\ cm^2$ | $f = 50$ Hz

$V_{max} = 150\sqrt{2}$ V | $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m | $I_{eff} = ?$

$$L = \frac{\mu A N^2}{\ell} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 10 \times 10^{-4} \times (5000)^2}{25\pi \times 10^{-2}} = 0.04\ H$$

$$X_L = 2\pi f L$$

$$= 2 \times \frac{22}{7} \times 50 \times 0.04 = 12.57\ \Omega$$

$$V_{eff} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{150\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = 150\ V$$

$$I_{eff} = \frac{V_{eff}}{X_L} = \frac{150}{12.57} = \mathbf{11.93\ A}$$

٣٧ اختبر نفسك

مجاب عنها

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

١ إذا زاد عدد لفات ملف حث متصل بمصدر تيار متردد مع ثبوت طول الملف ومساحة وجهه فإن مفاعلته الحثية ....

(أ) تزداد (ب) تقل (ج) تبقى كما هى (د) تنعدم

٢ الشكل البيانى المقابل يمثل العلاقة بين المفاعلة الحثية (X_L) لملف حث مهمل المقاومة الأومية متصل بمصدر تيار متردد يمكن تغيير تردده وتردد التيار (f) المار بالملف وذلك عند رسمهما بنفس مقياس الرسم، فإن مقدار معامل الحث الذاتى لهذا الملف هو ....

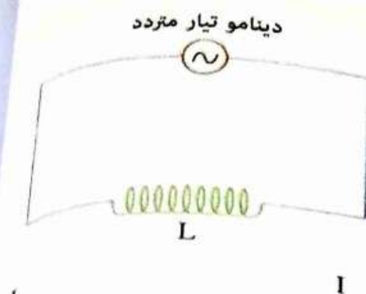
$X_L(\Omega)$

45°

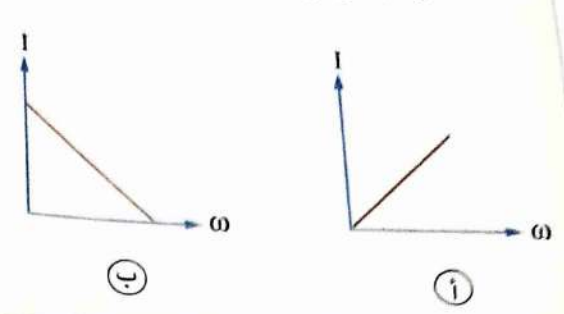
f(Hz)

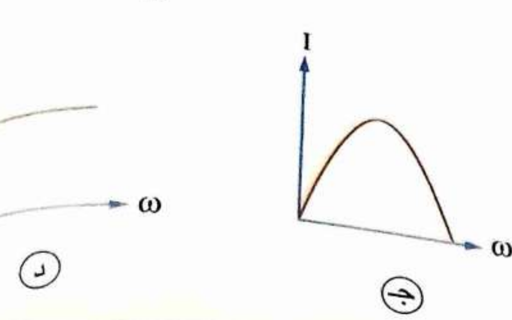
(أ) 3.14 H (ب) 6.28 H

(ج) 0.159 H (د) 1.57 H



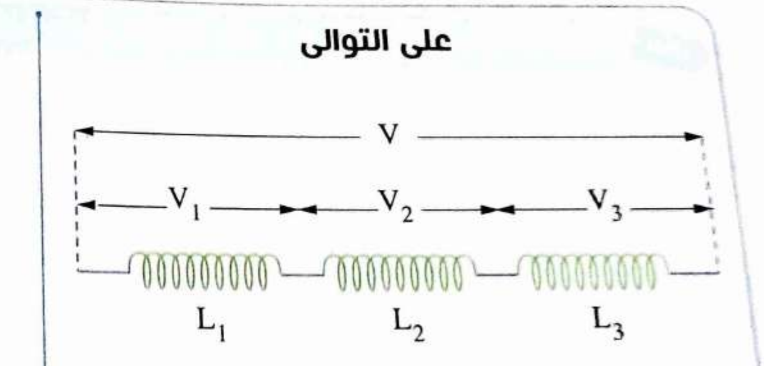
٢ الشكل المقابل يمثل ملف حث مهمل المقاومة الأومية متصل بدينامو تيار متردد يمكن تغيير سرعة دوران ملفه، أى الأشكال البيانية الآتية يمثل العلاقة بين القيمة الفعالة للتيار المار فى الدائرة (I) وسرعة دوران ملف الدينامو (ω) ؟





المفاعلة الحثية لعدة ملفات متصلة معًا

* عند توصيل عدة ملفات حث معًا (بحيث تكون متباعدة عن بعضها حتى يمكن إهمال الحث المتبادل بينها) بمصدر تيار متردد، فإذا كان التوصيل :

على التوالى	على التوازى
	V L_1 L_2 L_3

فرق الجهد بين طرفى كل ملف

على التوالى	على التوازى
يتوزع فرق الجهد الكلى (V) على الملفات $V = V_1 + V_2 + V_3$	يكون فرق الجهد بين طرفى كل ملف متساوى

شدة التيار المار فى كل ملف

على التوالى	على التوازى
يمر فى الملفات نفس شدة التيار	يتوزع التيار الكلى على الملفات $I = I_1 + I_2 + I_3$

المفاعلة الحثية الكلية

$\because V = V_1 + V_2 + V_3$

$I \grave{X}_L = I (X_L)_1 + I (X_L)_2 + I (X_L)_3$

$\therefore \grave{X}_L = (X_L)_1 + (X_L)_2 + (X_L)_3$

$\because I = I_1 + I_2 + I_3$

$\frac{V}{\grave{X}_L} = \frac{V}{(X_L)_1} + \frac{V}{(X_L)_2} + \frac{V}{(X_L)_3}$

$\therefore \frac{1}{\grave{X}_L} = \frac{1}{(X_L)_1} + \frac{1}{(X_L)_2} + \frac{1}{(X_L)_3}$

معامل الحث الذاتى الكلى

$\grave{L} = L_1 + L_2 + L_3$

$\frac{1}{\grave{L}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}$

إذا كان معامل الحث الذاتى للملفات متساوى وعدد الملفات (n)

$\grave{X}_L = n (X_L)_1$

$\grave{L} = nL_1$

$\grave{X}_L = \frac{(X_L)_1}{n}$

$\grave{L} = \frac{L_1}{n}$

مثال (١)

احسب شدة التيار الكلى المار فى الدائرة الموضحة.
(بفرض إهمال الحث المتبادل بين الملفات)

$(X_L)_3 = 4\,\Omega$

$(X_L)_1 = 18\,\Omega$

$(X_L)_2 = 9\,\Omega$

$(X_L)_4 = 10\,\Omega$

$V = 100\,V$

$(X_L)_5 = 5\,\Omega$

الحل

$(X_L)_1$ ، $(X_L)_2$ متصلين على التوازى :

$$\therefore (\grave{X}_L)_1 = \frac{18 \times 9}{18 + 9} = 6\,\Omega$$

$(\grave{X}_L)_1$ ، $(X_L)_3$ متصلين على التوالى :

$$\therefore (\grave{X}_L)_2 = 6 + 4 = 10\,\Omega$$

$(\grave{X}_L)_2$ ، $(X_L)_4$ متصلين على التوازى :

$$\therefore (\grave{X}_L)_3 = \frac{10}{2} = 5\,\Omega$$

$(\grave{X}_L)_3$ ، $(X_L)_5$ متصلين على التوالى :

$$\therefore (X_L)_{\text{كلية}} = 5 + 5 = 10\,\Omega$$

$$I = \frac{V}{(X_L)_{\text{كلية}}} = \frac{100}{10} = \mathbf{10\,A}$$

مثال ٢

ثلاثة ملفات حث مهملة المقاومة كل منها عدد لفاته 100 لفة وطوله 15 cm ونصف قطره 2.2 cm، ملفوفة حول قضيب من الحديد نفاذيته المغناطيسية 0.002 Wb/A.m فإذا وصلت هذه الملفات بمصدر تيار متردد تردده 50 Hz. **احسب المفاعلة الحثية الكلية إذا وصلت مع بعضها على :**

(أ) التوالى.

(ب) التوازى.

(بفرض إهمال الحث المتبادل بينها)

الحل

$n = 3$ | $N = 100$ | $\ell = 15 \times 10^{-2}$ m | $r = 2.2 \times 10^{-2}$ m

$\mu = 0.002$ Wb/A.m | $f = 50$ Hz | $\grave{X}_L = ?$

$$L_1 = \frac{\mu A N^2}{\ell} = \frac{0.002 \times \frac{22}{7} \times (2.2 \times 10^{-2})^2 \times (100)^2}{15 \times 10^{-2}} = 0.2 \text{ H}$$

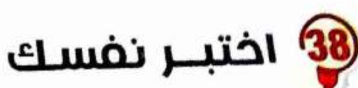
$$(X_L)_1 = 2\pi f L_1 = 2 \times \frac{22}{7} \times 50 \times 0.2 = 62.86\ \Omega$$

(أ)

$$\grave{X}_L = n\,(X_L)_1 = 3 \times 62.86 = \mathbf{188.58\ \Omega}$$

(ب)

$$\grave{X}_L = \frac{(X_L)_1}{n} = \frac{62.86}{3} = \mathbf{20.95\ \Omega}$$

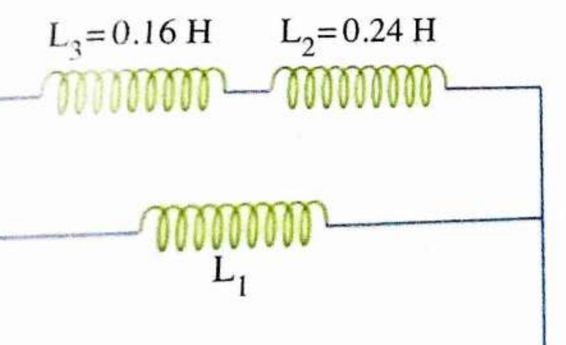


38 اختبر نفسك

مجاب عنه

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

فى الدائرة الموضحة إذا كانت شدة التيار المار فى الدائرة 1 A، فإن قيمة L_1 تساوى ....



(أ) 0.1 H

(ب) 0.2 H

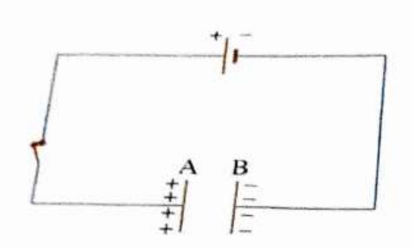
(ج) 0.4 H

(د) 0.6 H

المكثف الكهربى

المكثــف الكهربى هو عبارة عن لوحين معدنيين متوازيــين بينهما عازل ويخزن الطاقة الكهربية على صورة مجال كهربى.

توصيل المكثف مع مصدر تيار مستمر



* **عند توصيل مكثف ببطارية (كما بالشكل المقابل) بحيث يتصل اللوح A بالقطب الموجب واللوح B بالقطب السالب :**

- تنتقل الشحنة الســالبة (الإلكترونات) من القطب الســالب للبطارية إلى اللوح B ويقل جهده تدريجيًا.
- تؤثر شحنة اللوح B السالبة على اللوح A فتطرد الشحنة السالبة منه إلى القطب الموجب للبطارية ويرتفع جهد اللوح A تدريجيًا حيث تظهر عليه شحنة موجبة فينشأ فرق فى الجهد بين اللوحين.
- يزداد فرق الجهد بين اللوحين بمرور الزمن حتى يتســاوى مع فرق الجهد بين قطبى البطارية وعندها يتوقف انتقال الشحنات وبذلك يكون قد تم شحن المكثف.

* **مما سبق يتضح** أن التيار المار فى هــذه الحالة هو تيار لحظى يكــون قيمة عظمى فى لحظــة التوصيل ويتناقص تدريجيًا حتى يتوقف عند تمام شحن المكثف.

سعة المكثف

* عند شحن المكثف الكهربى يكون أحد لوحيه موجب الشحنة والآخر سالب الشحنة وينشأ بينهما فرق جهد (V).

من هنا يمكن تعريف سعة المكثف كالتالى :

سعة المكثف (C)

النسبة بين كمية الشحنة الكهربية المتراكمة على أى من لوحى المكثف وفرق الجهد بينهما.

* **تتعين سعة المكثف (C) من العلاقة :**

$$C = \frac{Q}{V}$$

حيث : (Q) كمية الشحنة الكهربية المتراكمة على أى من لوحى المكثف،

(V) فرق الجهد بين لوحيه.

* **تقاس سعة المكثف بوحدة الفاراد (F) ويكافئ (C/V).**

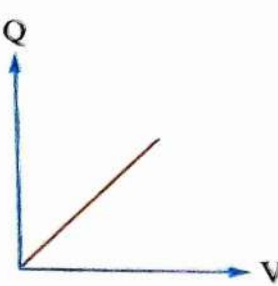
الفاراد

سعة مكثف إذا شُحن بشحنة كهربية مقدارها 1 C يكون فرق الجهد بين لوحيه 1 V

العوامل المؤثرة على كمية الشحنة المتراكمة على لوحى المكثف (Q)

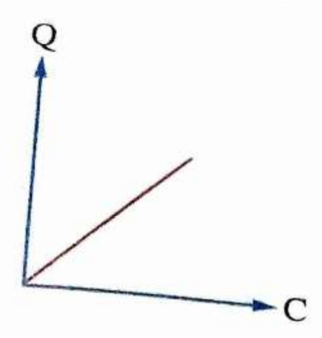
$$Q = C V$$

١ **فرق الجهد (V) بين لوحى المكثف :**
تتناسب كمية الشحنة المتراكمة على لوحى المكثف تناسبًا طرديًا مع فرق الجهد بين لوحى المكثف.



$$slope = \frac{\Delta Q}{\Delta V} = C$$

٢ **سعة المكثف (C) :**
تتناسب كمية الشحنة المتراكمة على لوحى المكثف تناسبًا طرديًا مع سعة المكثف.



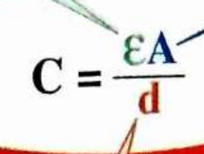
$$slope = \frac{\Delta Q}{\Delta C} = V$$

معلومة إثرائية

العوامل المؤثرة على سعة مكثف (C)

١ المساحة (A) المتقابلة من لوحى المكثف «علاقة طردية»

٢ السماحية الكهربية للوسط (ε) والتى تعتمد على نوع المادة العازلة بين لوحى المكثف «علاقة طردية»



$$C = \frac{\varepsilon A}{d}$$

٣ المسافة الفاصلة بين لوحى المكثف (d) «علاقة عكسية»

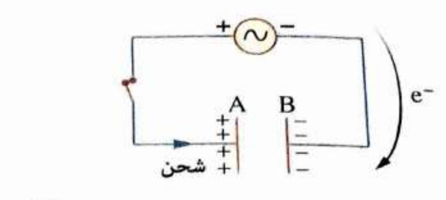
ثالثًا دائرة تيار متردد تحتوى على مكثف C

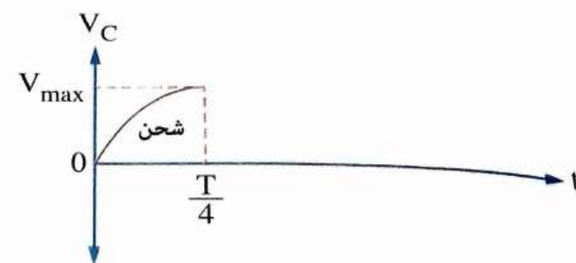
* عند توصيل مكثف بمصدر تيار متردد فإنه :

فى نصف الدورة الأول

١ فى الربع الأول

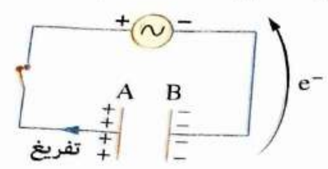
يتم شـحن المكثف تدريجيًـا حتى يصل فرق الجهد بين لوحيه إلى نهاية عظمى تساوى النهاية العظمى لـ emf للمصدر

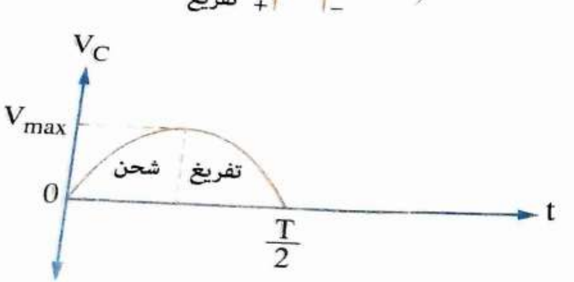




٢ فى الربع الثانى

يبدأ المكثف تفريغ شـحنته عندما تبدأ emf للمصدر فـى الهبـوط حيث يكون جهد المكثـف أكبر من جهد المصـدر وعندمـا تصـل emf للمصدر إلـى الصفر يصل جهد المكثف أيضًا للصفر

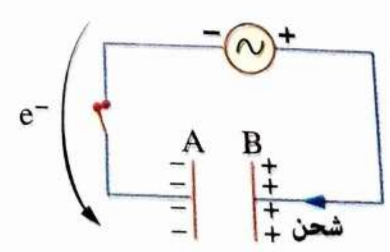


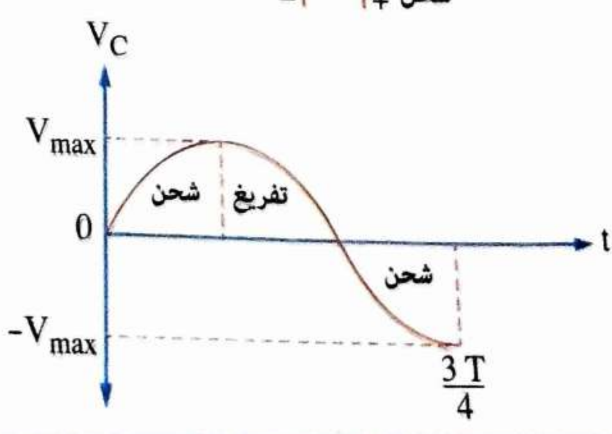


فى نصف الدورة الثانى

٣ فى الربع الثالث

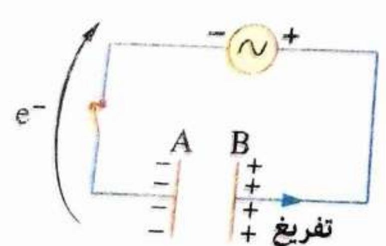
يتم شـحن المكثف حتى يصل فرق الجهد بين لوحيه إلـى النهاية العظمـى لـ emf للمصدر كمـا بالربع الأول ولكن بشحنات معكوسة

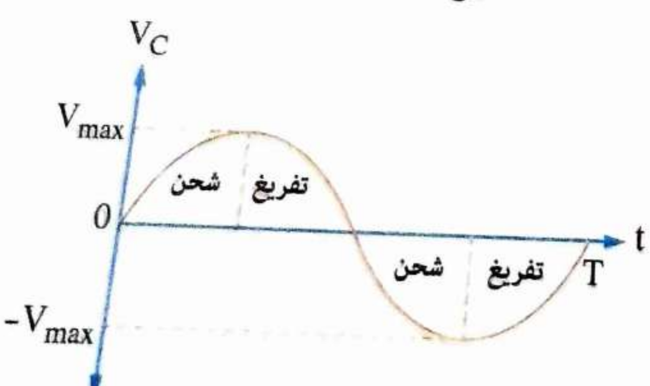




٤ فى الربع الرابع

يبدأ المكثف تفريغ شحنته كما بالربع الثانى عند هبوط emf للمصـدر حتـى يصـل كل منهما إلـى الصفر فى نهاية النصف الثانى للدورة





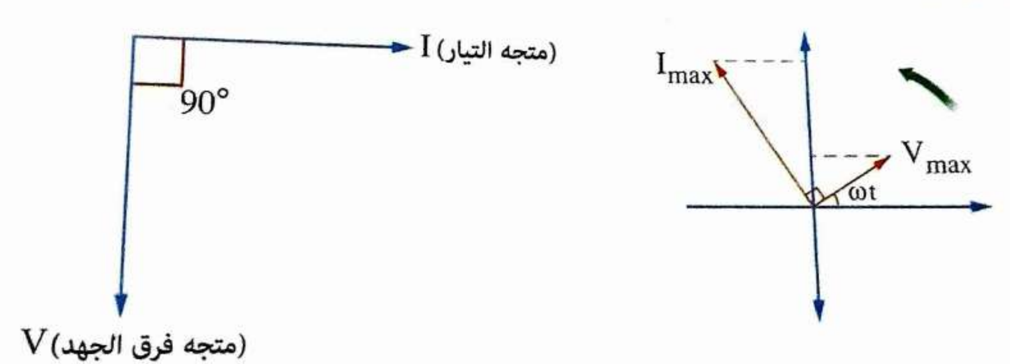
أى أن المكثف يسمح بمرور التيار المتردد فى الدائرة الخارجية عن طريق الشحن والتفريغ، ويمكن حساب شدة التيار اللحظى المار فى الدائرة كالتالى

$$I_C = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \qquad Q = CV_C$$

$$\therefore I_C = \frac{\Delta CV_C}{\Delta t} \qquad \therefore I_C = C\frac{\Delta V_C}{\Delta t} \qquad \therefore I_C \propto \frac{\Delta V_C}{\Delta t}$$

* يتغير فرق الجهد بين لوحى المكثف مع زاوية الطور على صورة منحنى جيبى (كما بالشكل) تبعًا للعلاقة ($V_C = V_{max} \sin \omega t$)،

ويمثل ($\frac{\Delta V_C}{\Delta t}$) ميل المماس لهذا المنحنى عند أى نقطة **حيث** :



1. يكون هذا الميل نهاية عظمى عندما تكون قيمة فرق الجهد (V_C) مساوية للصفر وبذلك تكون قيمة شدة التيار (I_C) نهاية عظمى.
2. بزيادة فرق الجهد يقل الميل تدريجيًا وتقل قيمة شدة التيار حتى يصل فرق الجهد إلى القيمة العظمى فتنعدم قيمة الميل وبذلك تصبح قيمة شدة التيار مساوية للصفر عند تلك اللحظة.
3. عندما يقل فرق الجهد تصبح قيمة الميل مقدارًا سالبًا ويزداد تدريجيًا فتزداد قيمة شدة التيار اللحظى فى الاتجاه السالب حتى تصل إلى نهايتها العظمى عندما تصل قيمة فرق الجهد للصفر.

* مما سبق يتضح أن التيار يتقدم على الجهد فى الطور بمقدار $\frac{1}{4}$ دورة أى بزاوية $90°$ بسبب سعة المكثف.

I (متجه التيار)

90°

V (متجه فرق الجهد)

I_{max}

V_{max}

ωt

أى أن فرق الجهد بين لوحى المكثف فى أى لحظة يتعين من العلاقة : $V = V_{max} \sin \omega t$

وشدة التيار فى نفس اللحظة تتعين من العلاقة : $I = I_{max} \sin (\omega t + 90)$

المفاعلة السعوية

* يسبب وجود المكثف فى الدائرة الكهربية نوعًا من الممانعة لمرور التيار المتردد تسمى **المفاعلة السعوية** (X_C).

المفاعلة السعوية (X_C)

المانعة التى يلقاها التيار المتردد أثناء مروره فى دائرة تحتوى على مكثف بسبب سعته.

• تتعين المفاعلة السعوية (X_C) من العلاقة :

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

تقاس المفاعلة السعوية بوحدة الأوم (Ω)

العوامل التى تتوقف عليها المفاعلة السعوية لمكثف

١ تردد التيار :

تتناسب المفاعلة السعوية لمكثف تناسبًا **عكسيًا** مع تردد التيار.

$$slope = \frac{\Delta X_C}{\Delta(\frac{1}{f})} = \frac{1}{2\pi C}$$



(أو) السرعة الزاوية :

تتناسب المفاعلة السعوية لمكثف تناسبًا **عكسيًا** مع السرعة الزاوية.

$$slope = \frac{\Delta X_C}{\Delta(\frac{1}{\omega})} = \frac{1}{C}$$

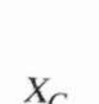
$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$



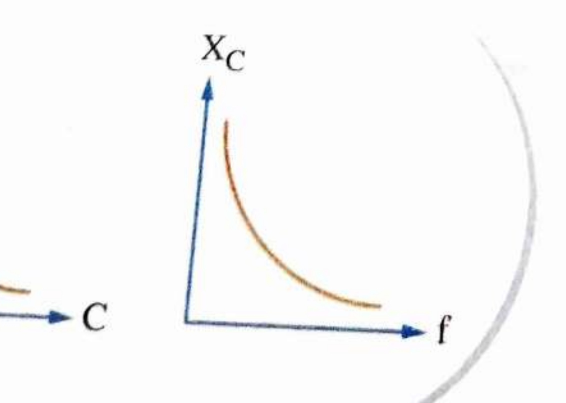
٢ سعة المكثف :

تتناسب المفاعلة السعوية لمكثف تناسبًا **عكسيًا** مع سعة المكثف.

$$slope = \frac{\Delta X_C}{\Delta(\frac{1}{C})} = \frac{1}{\omega} = \frac{1}{2\pi f}$$



• التمثيل البيانى للعلاقة بين المفاعلة السعوية وكل من سعة المكثف وتردد التيار.



$I = \frac{V_C}{X_C}$

مما سبق نستنتج أن :

- شدة التيار المتردد المار فى دائرة تحتوى على مكثف تتعين من العلاقة :
- قيمة المفاعلة السعوية لمكثف (X_C) لا تعتمد على فرق الجهد بين لوحى المكثف (V_C) أو شدة التيار (I_C) بالدائرة
- عند الترددات العالية جدًا فى دائرة مكثف تعتبر الدائرة الكهربية مغلقة،

لأن المفاعلة السعوية للمكثف (X_C) تتناسب عكسيًا مع تردد المصدر تبعًا للعلاقة $\left(X_C = \frac{1}{2\pi fC}\right)$ ولذلك عند الترددات العالية جدًا تصبح قيمة X_C صغيرة جدًا وبالتالى يمر تيار كبير جدًا وتعتبر الدائرة مغلقة.

ملاحظات

* عنـد توصيل دينامو تيـار متردد مقاومته الأومية مهملة بمكثف وتغيير تردد ملف الدينامو نجد أن شـدة التيار العظمى تتناسب طرديًا مع مربع تردد التيار حيث إنها تحسب من العلاقة :

$$I_{max} = \frac{V_{max}}{X_C} = \frac{NBA\omega}{\frac{1}{\omega C}} = NBA\omega^2C = NBA \times 4\,\pi^2f^2C$$

* **لا تسبب المفاعلة السعوية لمكثف فقدًا فى الطاقة الكهربية،**

لأن المكثـف أثنـاء عملية الشـحن يخـزن الطاقة الكهربية علـى صورة مجال كهربى وأثنـاء التفريغ يفرغ شحنته على صورة طاقة كهربية.

* **عند الترددات المنخفضة جدًا فى دائرة المكثف تعتبر الدائرة الكهربية مفتوحة،**

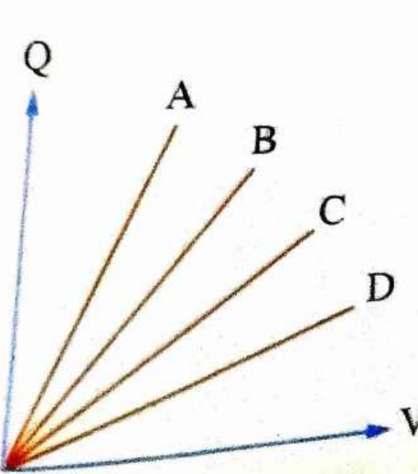
لأن المفاعلة السـعوية للمكثف (X_C) تتناسـب عكسـيًا مع تردد التيار تبعًا للعلاقة $\left(X_C = \frac{1}{2\pi fC}\right)$ ولذلك عند الترددات المنخفضة جدًا تصبح قيمة X_C كبيرة جدًا، وبالتالى يمنع المكثف مرور الإشارات الكهربية ذات الترددات المنخفضة فى الدائرة.

39 اختبـر نفسك

مجاب عنه

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

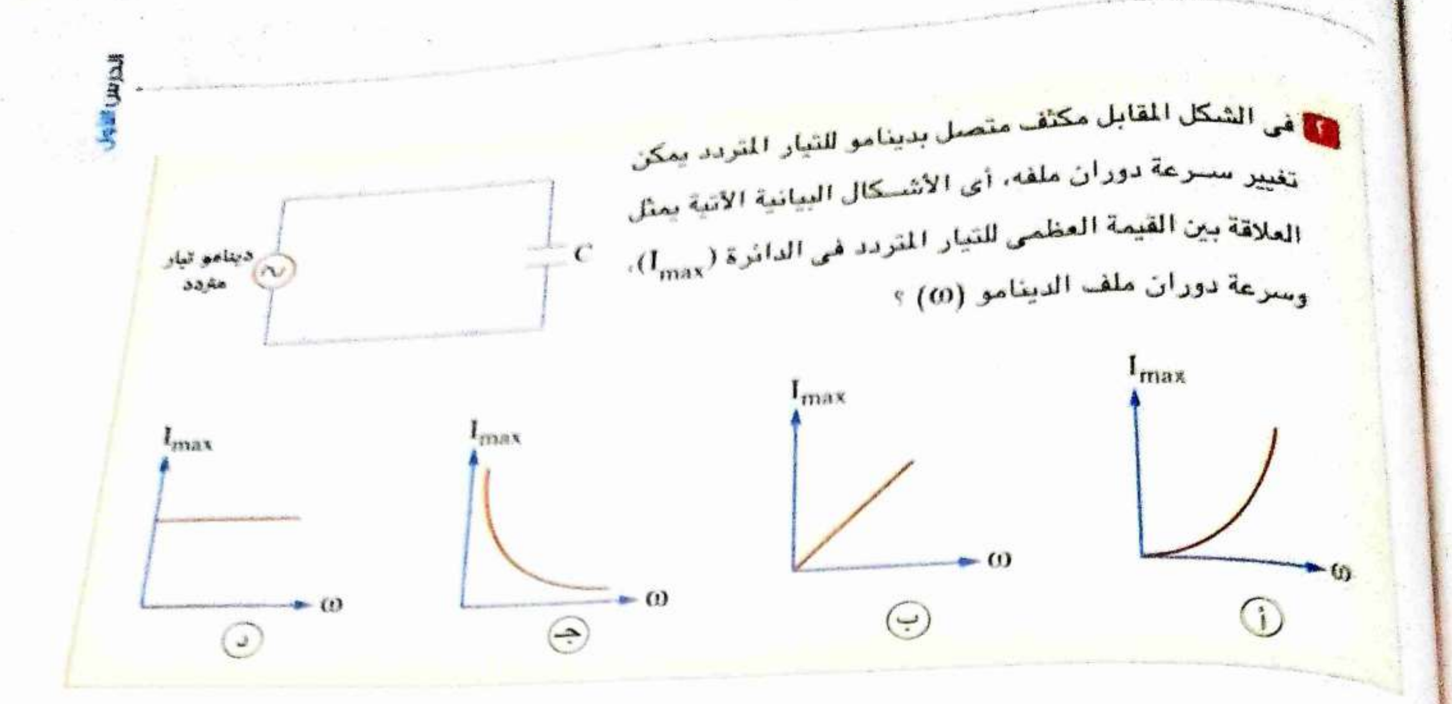
1 الشكل المقابل يمثل العلاقة البيانية بين الشحنة المتراكمة (Q) على أحد لوحى أربعة مكثفات D ،C ،B ،A وفرق الجهد (V) بين لوحى كل منها أثناء عملية الشحن، فأى من هذه المكثفات لها سعة أقل ؟



(أ) A
(ب) B
(ج) C
(د) D

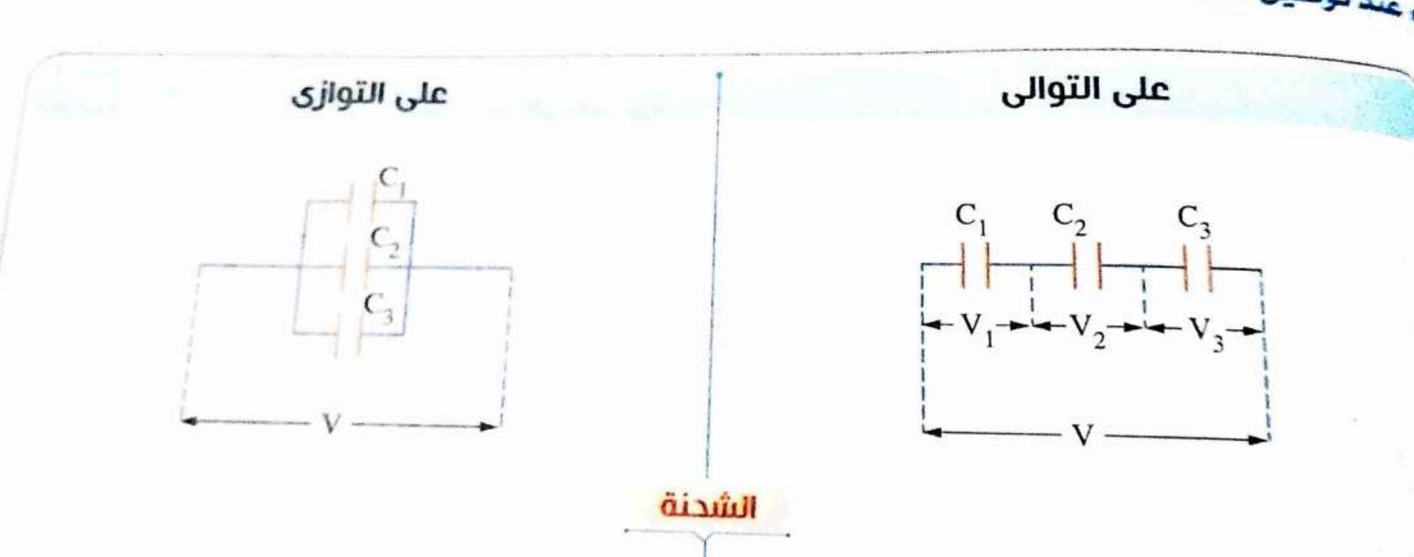
19 21:19

٢ في الشكل المقابل مكثف متصل بدينامو للتيار المتردد يمكن تغيير سـرعة دوران ملفه، أي الأشـكال البيانية الآتية يمثل العلاقة بين القيمة العظمى للتيار المتردد في الدائرة (I_{max})، وسرعة دوران ملف الدينامو (ω) ؟



المفاعلة السعوية لعدة مكثفات متصلة معًا

• عند توصيل عدة مكثفات معًا :



الشحنة

على التوالى	على التوازى
يتم شحن كل مكثف بنفس الشحنة الكهربية (Q)	تتوزع الشحنة الكهربية على المكثفات $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$

فرق الجهد بين لوحى كل مكثف

على التوالى	على التوازى
يتوزع فرق الجهد (V) على المكثفات $V = V_1 + V_2 + V_3$	يكون فرق الجهد بين طرفى كل مكثف (V) متساوى

السعة المكافئة	$\because \grave{V} = V_1 + V_2 + V_3$ $\therefore \frac{Q}{\grave{C}} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$ $\therefore \frac{1}{\grave{C}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$	$\grave{Q} = Q_1 + Q_2 + Q_3$ $\therefore V\grave{C} = VC_1 + VC_2 + VC_3$ $\therefore \grave{C} = C_1 + C_2 + C_3$
المفاعلة السعوية الكلية	$\grave{X}_C = (X_C)_1 + (X_C)_2 + (X_C)_3$	$\frac{1}{\grave{X}_C} = \frac{1}{(X_C)_1} + \frac{1}{(X_C)_2} + \frac{1}{(X_C)_3}$
إذا كانت المكثفات متساوية السعة وعددها n	$\grave{C} = \frac{C_1}{n}$ $\grave{X}_C = n\,(X_C)_1$	$\grave{C} = nC_1$ $\grave{X}_C = \frac{(X_C)_1}{n}$

مثال ١

ثلاثة مكثفات سعتها $20\ \mu F$ ، $80\ \mu F$ ، $40\ \mu F$ وصلت معًا على التوازى مع مصدر قوته الدافعة $100\ V$ وتردده $50\ Hz$، **أوجد** شدة التيار المار فى الدائرة.

الحل

$C_1 = 20 \times 10^{-6}\ F$ | $C_2 = 80 \times 10^{-6}\ F$ | $C_3 = 40 \times 10^{-6}\ F$

$V = 100\ V$ | $f = 50\ Hz$ | $I = ?$

$\because$ المكثفات متصلة معًا على التوازى.

$$\grave{C} = C_1 + C_2 + C_3$$

$$= (20 \times 10^{-6}) + (80 \times 10^{-6}) + (40 \times 10^{-6})$$

$$= 140 \times 10^{-6}\ F$$

$$\grave{X}_C = \frac{1}{2\pi f \grave{C}} = \frac{1}{2 \times \frac{22}{7} \times 50 \times 140 \times 10^{-6}} = 22.73\ \Omega$$

$$I = \frac{V}{\grave{X}_C} = \frac{100}{22.73} = \mathbf{4.4\ A}$$



مثال (٢)

من الشكل المقابل، احسب

السعة الكلية لمجموعة المكثفات بين النقطتين x ، y

الحل

C_1 ، C_2 متصلين على التوازى :

$$\grave{C}_1 = 9 + 9 = 18\ \mu F$$

$\grave{C}_1$ ، C_3 متصلين على التوالى :

$$\grave{C}_2 = \frac{18 \times 9}{18 + 9} = 6\ \mu F$$

$\grave{C}_2$ ، C_4 متصلين على التوازى :

$$\grave{C}_3 = 6 + 6 = 12\ \mu F$$

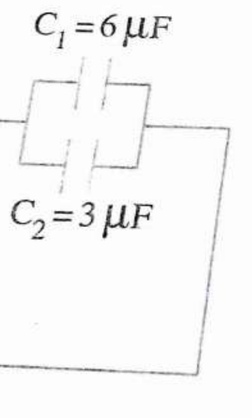
$\grave{C}_3$ ، C_5 متصلين على التوالى :

$$C_{(\text{كلية})} = \frac{12}{2} = 6\ \mu F$$

(40) اختبر نفسك

مجاب عنها

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :



فى الشكل المقابل، إذا كانت الشحنة الكهربية المتراكمة على أحد لوحى المكثف الأول 180 μC، فإن الشحنة المتراكمة على أحد لوحى المكثف الثانى تساوى ....

(أ) 360 μC
(ب) 240 μC
(جـ) 150 μC
(د) 90 μC



فى هذا الدرس سوف نتعرف :

- المعاوقة.
- دائرة تيار متردد تحتوى على مقاومة أومية وملف حث متصلين على التوالى.
- دائرة تيار متردد تحتوى على مقاومة أومية ومكثف متصلين على التوالى.
- دائرة تيار متردد تحتوى على مقاومة أومية وملف حث ومكثف متصلة معًا على التوالى.

المعاوقة Impedance

* الدوائر الكهربية التى تحتوى على مقاومات أومية (R) وملفات حث (L) ومكثفات (C) ومصدر للتيار المتردد توجد بها مفاعلة للتيار المتردد (مفاعلة حثية أو مفاعلة سعوية) بالإضافة إلى المقاومات الأومية ومقاومة الأسلاك ويطلق على مكافئ المفاعلة والمقاومة معًا اسم **المعاوقة (Z)**.

المعاوقة (Z)
مكافئ المقاومة والمفاعلة الحثية والمفاعلة السعوية فى دائرة تيار متردد.

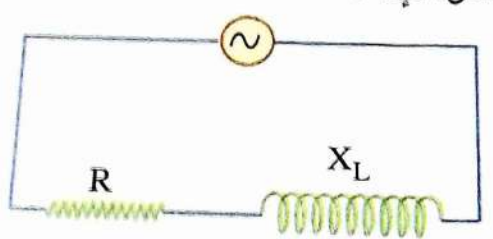
تقاس المعاوقة بوحدة **الأوم (Ω)**

رابعًا دائرة تيار متردد تحتوى على مقاومة أومية وملف حث متصلين على التوالى RL

* من المستحيل عمليًا وجود ملف حث عديم المقاومة لأن أى ملف يمتلك قدر ولو ضئيل من المقاومة الأومية الناتجة عن مقاومة الأسلاك المستخدمة فى صناعته.

ملاحظة
* يمكن تمثيل ملف الحث الذى له مقاومة أومية فى الدائرة الكهربية بعنصرين متصلين على التوالى أحدهما ملف حث والآخر مقاومة أومية.

* عند وجود دائرة كهربية تحتوى على مصدر تيار متردد متصل على التوالى مع ملف حث له مقاومة أومية أو ملف حث متصل بمقاومة أومية كما بالشكل، فإنه :



فى ملف الحث

يتقدم فرق الجهد (V_L) على التيار (I) بمقدار $\frac{1}{4}$ دورة (زاوية طور 90°)

V_L
I

فى المقاومة الأومية

يتفق فرق الجهد (V_R) والتيار (I) فى الطور

V_R
I

ويتساوى التيار فى المقاومة مع التيار فى ملف الحث فى القيمة ويتفقا فى الطور لأنهما متصلان معًا على التوالى

وبالتالى :

– يتقــدم الجهــد عــبر الملــف (V_L) على الجهــد عبر المقاومــة (V_R) بزاويــة طــور $90°$ ويتعين فرق الجهد الكلى (V) باستخدام المتجهات من العلاقة :

$$V = \sqrt{V_R^2 + V_L^2}$$

– يتقدم الجهد الكلى (V) فى الطور على التيــار (I) (أو الجهد عبر المقاومة V_R) بزاوية θ تتعين من العلاقة :

$$\tan\theta = \frac{V_L}{V_R} = \frac{IX_L}{IR} = \frac{X_L}{R}$$

حيث : (θ) دائمًا موجبة ($90° > \theta > 0°$)

$$\because V = IZ \quad , \quad V_R = IR \quad , \quad V_L = IX_L$$

$$\therefore IZ = \sqrt{I^2R^2 + I^2X_L^2} = I\sqrt{R^2 + X_L^2}$$

بالقسمة على I

$$\therefore Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

– يمكن تعيين شدة التيار الكلى (I) من العلاقة :

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{V_R}{R} = \frac{V_L}{X_L}$$

ملاحظة

* لا تجمــع فروق الجهد عبر ملف الحث والمقاومة الأومية جمعًا جبريًا بل جمعًا اتجاهيًا.

$$V \neq V_R + V_L$$

لكن

$$V = \sqrt{V_R^2 + V_L^2}$$

وبالمثل لا تجمع المفاعلة الحثية والمقاومة الأومية جمعًا جبريًا بل جمعًا اتجاهيًا.

مثـال

مصدر تيار متردد قوته الدافعة الفعالة $80\ V$ وتردده $50\ Hz$ موصل على التوالى مع ملف حثه الذاتى $\frac{21}{220}\ H$ ومقاومة $40\ \Omega$، **احسب :**

(أ) المعاوقة الكلية.

(ب) فرق الجهد بين طرفى كل من المقاومة والملف، وهل يمكن جمع الجهود جبريًا ؟

(ج) زاوية الطور بين التيار والجهد الكلى.

الحــل

$R = 40\ \Omega$	$L = \frac{21}{220}\ H$	$f = 50\ Hz$	$V = 80\ V$
$\theta = ?$	$V_L = ?$	$V_R = ?$	$Z = ?$

(أ)

$$X_L = 2\pi f L = 2 \times \frac{22}{7} \times 50 \times \frac{21}{220} = 30\ \Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{(40)^2 + (30)^2} = 50\ \Omega$$

(ب)

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{80}{50} = 1.6\ A$$

$$V_R = IR = 1.6 \times 40 = 64\ V$$

$$V_L = IX_L = 1.6 \times 30 = 48\ V$$

المجموع الجبرى لفروق الجهد :

$$\grave{V} = 64 + 48 = 112\ V$$

وهو أكبر من القوة الدافعة للمصدر، أما إذا جُمعت فروق الجهد جمعًا اتجاهيًا فإن :

$$\grave{V} = \sqrt{V_R^2 + V_L^2} = \sqrt{(64)^2 + (48)^2} = 80\ V$$

وهذه القيمة (80 V) تساوى القوة الدافعة الكهربية للمصدر الكهربى **لذلك لا تجمع الجهود جبريًا .**

(جـ)

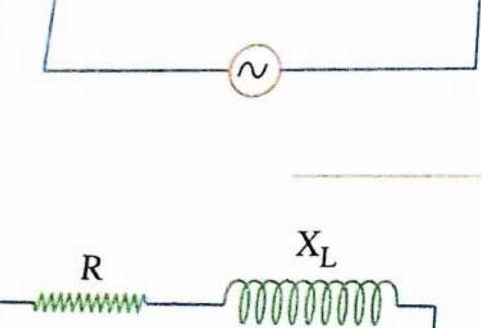
$$\tan\theta = \frac{X_L}{R} = \frac{30}{40} = 0.75$$

$$\theta = 36.87°$$

41 اختبـر نفسـك

مجاب عنها

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :



1 مصـدر متـردد جهـده 20 V متصل بمقاومة أوميـة وملف حث مهمـل المقاومـة الأومية، فـإذا كان فرق الجهد بـين طرفى ملف الحث 12 V فإن فرق الجهد بين طرفى المقاومة الأومية ....

(أ) 4 V
(ب) 8 V
(جـ) 16 V
(د) 32 V

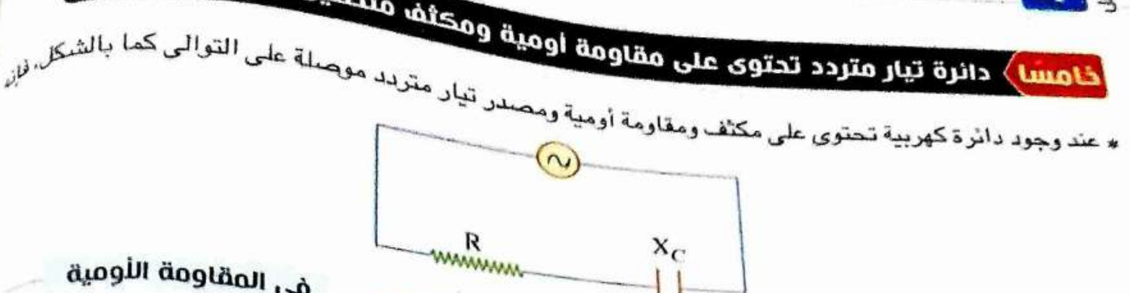
2 فى الدائرة الموضحة عند مرور تيار تردده f تكون $X_L = R$، فإذا زاد التردد إلى 2 f تكون النسبة بين المعاوقة قبل وبعد زيادة التردد هى ....

R
X_L

(أ) $\frac{\sqrt{3}}{2}$
(ب) $\frac{\sqrt{5}}{2}$
(جـ) $\frac{\sqrt{10}}{2}$
(د) $\frac{\sqrt{10}}{5}$

خامسًا دائرة تيار متردد تحتوى على مقاومة أومية ومكثف متصلين على التوالى RC

* عند وجود دائرة كهربية تحتوى على مكثف ومقاومة أومية ومصدر تيار متردد موصلة على التوالى كما بالشكل، فإن:



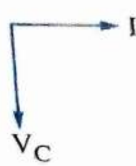
فى المقاومة الأومية

يتفق فرق الجهد (V_R) والتيار (I) فى الطور



فى المكثف

يتأخر فرق الجهد (V_C) عن التيار (I) بمقدار $\frac{1}{4}$ دورة (زاوية طور 90°)



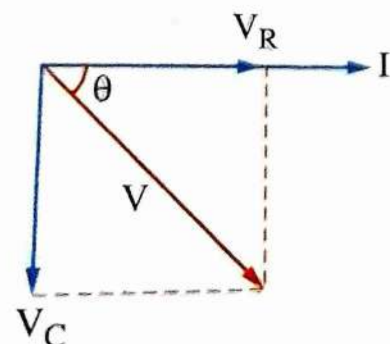
ويمر نفس التيار فى المقاومة وفى دائرة المكثف أى أن التيار له نفس الطور لكل منهما لأنهما متصلان معًا على التوالى

وبالتالى :

- يتأخر الجهد عبر المكثف (V_C) عن الجهد عبر المقاومة (V_R) بزاوية طور 90° ويتعين فرق الجهد الكلى (V) باستخدام المتجهات من العلاقة :

$$V = \sqrt{V_R^2 + V_C^2}$$

- يتأخر الجهد الكلى (V) فى الطور عن التيار (I) (أو الجهد عبر المقاومة V_R) بزاوية θ تتعين من العلاقة :



$$\tan\theta = \frac{-V_C}{V_R} = \frac{-IX_C}{IR} = \frac{-X_C}{R}$$

حيث : (θ) دائمًا سالبة (0° > θ > 90°)، والإشارة السالبة تعنى أن الجهد الكلى V متأخر عن التيار I بزاوية θ

$$\because V = IZ \quad , \quad V_R = IR \quad , \quad V_C = IX_C$$

$$\therefore IZ = \sqrt{I^2R^2 + I^2X_C^2} = I\sqrt{R^2 + X_C^2}$$

بالقسمة على I

$\therefore\ Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$

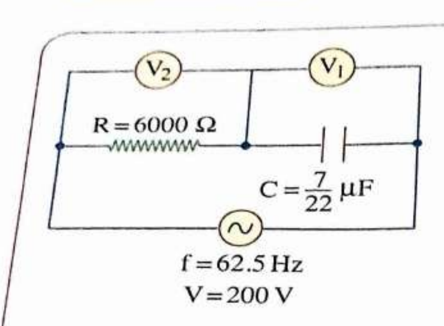
- يمكن تعيين شدة التيار الكلى (I) من العلاقة :

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{V_R}{R} = \frac{V_C}{X_C}$$

مثال ١

فى الدائرة الموضحة،

أوجد قراءة كل من : V_1 ، V_2



الحـــل

$R = 6000\ \Omega$	$C = \frac{7}{22}\ \mu F$	$f = 62.5\ Hz$	$V = 200\ V$
$V_1 = ?$	$V_2 = ?$		

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2 \times \frac{22}{7} \times 62.5 \times \frac{7}{22} \times 10^{-6}} = 8000\ \Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{(6000)^2 + (8000)^2} = 10000\ \Omega$$

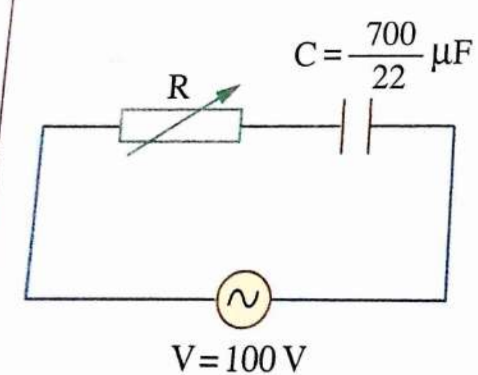
$$I = \frac{V}{Z} = \frac{200}{10000} = 0.02\ A$$

$$\therefore V_1 = V_C = IX_C = 0.02 \times 8000 = \mathbf{160\ V}$$

$$\therefore V_2 = V_R = IR = 0.02 \times 6000 = \mathbf{120\ V}$$

مثال ٢

فى الدائرة الموضحة، **ما** قيمة R التى تجعل التيار المار فى الدائرة 0.2 A ؟



الحـــل

$C = \frac{700}{22} \times 10^{-6}$ F | V = 100 V | f = 50 Hz | I = 0.2 A | **R = ?**

$Z = \frac{V}{I} = \frac{100}{0.2} = 500\ \Omega$

$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2 \times \frac{22}{7} \times 50 \times \frac{700}{22} \times 10^{-6}} = 100\ \Omega$

$\because Z^2 = X_C^2 + \mathbf{R}^2$

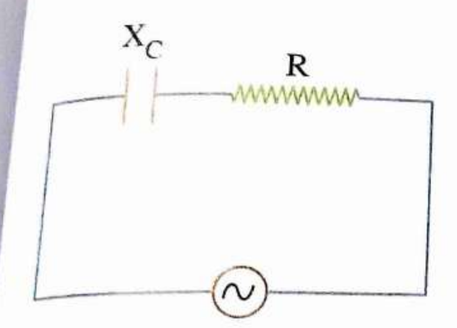
$\therefore \mathbf{R} = \sqrt{Z^2 - X_C^2} = \sqrt{(500)^2 - (100)^2} = \mathbf{489.9\ \Omega}$



42 اختبـــر نفسك

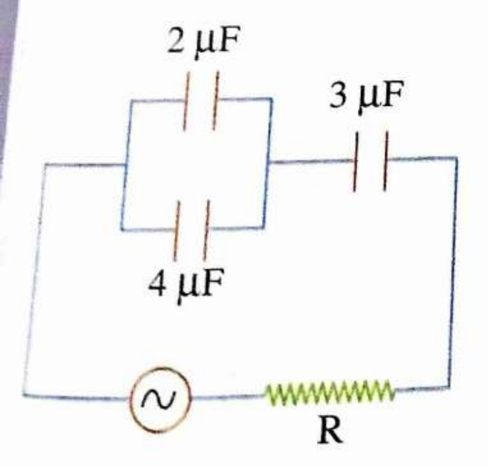
مجاب عنها

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :



1 فـى الدائـرة الكهربيـة المقابلـة إذا كانت المفاعلة السـعوية X_C ضعف المقاومة الأومية R، فإن المعاوقة Z تساوى ....

(أ) $\sqrt{2}\,R$
(ب) R
(جـ) $\sqrt{5}\,R$
(د) $3\,R$

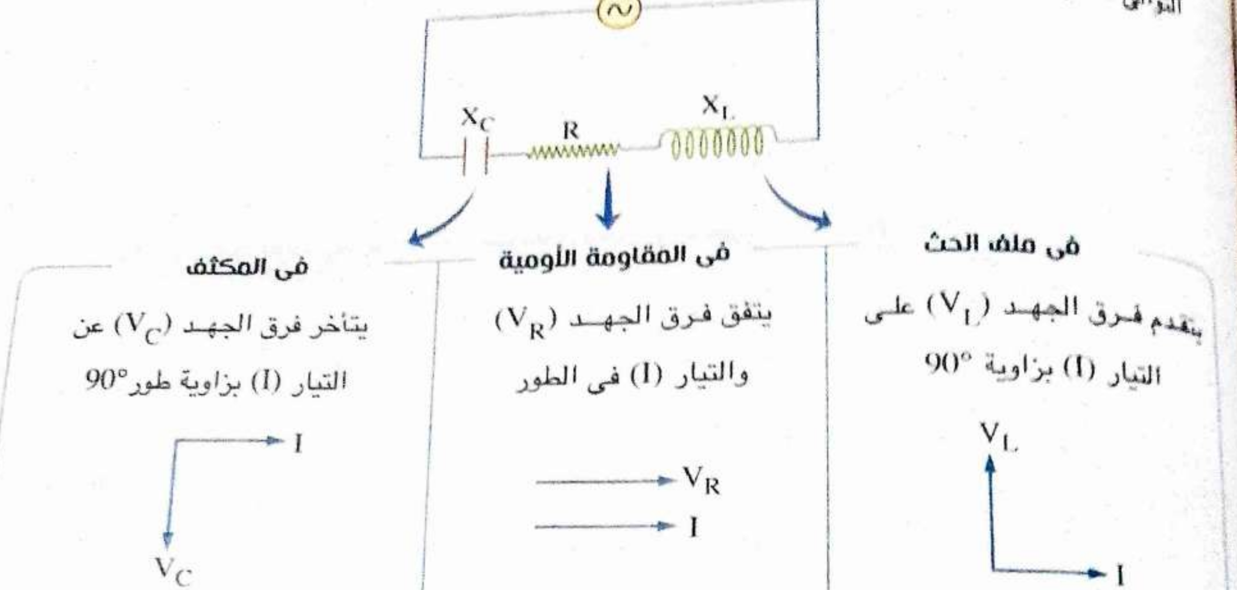


2 فـى الدائـرة الموضحـة مصدر متـردد تـردده 159 Hz والقيمة العظمـى لجهده $220\sqrt{2}$ V فـإذا كانت زاوية الطور بين الجهد الكلى والتيار 60°، فإن قيمة المقاومة R تساوى تقريبًا ....

(أ) 242 Ω
(ب) 289 Ω
(جـ) 312 Ω
(د) 326 Ω

سادسًا دائرة تيار متردد تحتوى على مقاومة أومية وملف حث ومكثف متصلة معًا على التوالى RLC

• عند وجود دائرة كهربية تحتوى على مكثف ومقاومة أومية وملف حث ومصدر تيار متردد متصلة جميعًا على التوالى كما بالشكل، فإنه :



ويمر نفس التيار فى كل من المقاومة وملف الحث ودائرة المكثف أى أن التيار له نفس الطور فى كل منها لأنها متصلة معًا على التوالى

وبالتالى :

- يتقدم الجهد فى الملف (V_L) عن الجهد فى المقاومة (V_R) بزاوية 90° ويتأخر الجهد فى المكثف (V_C) عن الجهد فى المقاومة (V_R) بزاوية 90° وبذلك يكون فرق الطور بين V_L و V_C يساوى 180°

$(V_L > V_C)$ أو $(V_C > V_L)$

- يتعين فرق الجهد الكلى (V) باستخدام المتجهات من العلاقة :

$$V = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2}$$

$$\because V = IZ \quad , \quad V_R = IR \quad , \quad V_L = IX_L \quad , \quad V_C = IX_C$$

$$\therefore IZ = \sqrt{(IR)^2 + (IX_L - IX_C)^2} = I\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

بالقسمة على I

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

- يمكن تعيين زاوية الطور (θ) بين الجهد الكلى (V) والتيار (I) من العلاقة :

$$\tan\theta = \frac{V_L - V_C}{V_R} = \frac{X_L - X_C}{R}$$

- يمكن تعيين شدة التيار الكلى (I) من العلاقة :

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{V_R}{R} = \frac{V_L}{X_L} = \frac{V_C}{X_C}$$

* وبالتالى تتأثر زاوية الطور (θ) بتغير قيم المفاعلات الحثية والسعوية فعندما تكون :

	$V_L > V_C$ $X_L > X_C$	$V_L = V_C$ $X_L = X_C$	$V_L < V_C$ $X_L < X_C$
تكون زاوية الطور (θ)	موجبة أى أن الجهد الكلى (V) يتقدم على التيار (I) بزاوية (θ)	مساوية للصفر أى أن الجهد الكلى (V) يتفق مع التيار (I) فى الطور (فرق الطور بينهما = صفر)	سالبة أى أن الجهد الكلى (V) يتأخر عن التيار (I) بزاوية (θ)
وتكون للدائرة خواص	حثية	أومية	سعوية

ملاحظات

* **فى دائرة RL أو RC أو RLC تكون القدرة (P_w) المستهلكة فى الدائرة هى القدرة المستهلكة عبر المقاومة الأومية فى صورة طاقة حرارية تبعًا للعلاقة :** $\left(P_w = I^2R = \frac{V_R^2}{R}\right)$،

حيث I ، V_R هى القيم الفعالة للتيار والجهد المتردد على الترتيب.

* **لا يمكن جمع الجهود جبريًا فى حالة استخدام تيار متردد يمر فى دائرة RLC،**

لأنــه فى ملف الحث يتقدم فرق الجهد (V_L) على التيار (I) بزاوية 90°، وعبر المكثف يتخلف فرق الجهد (V_C) عن التيار (I) بزاوية 90°، أما فى حالة مقاومة أومية عديمة الحث يكون فرق الجهد والتيار لهما نفس الطور، وبالتالى لا يمكن جمع الجهود لأنها تعامل كمتجهات فيتم جمعها جمع اتجاهى $\left(V = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2}\right)$.

مثال (١)

دائرة تيار متردد تحتوى على ملف ومقاومة ومكثف متصلة معًا على التوالى فإذا كان فرق الجهد عبر الملف 80 V وعبر المقاومة 40 V وعبر المكثف 50 V وكان التيار فى الدائرة 2 A، **احسب :**

(أ) فرق الجهد الكلى. (ب) زاوية الطور بين الجهد الكلى والتيار، وما خواص الدائرة ؟

(جـ) القدرة الحرارية المستهلكة. (د) معاوقة الدائرة.

الحـــل

$V_L = 80\ V$	$V_R = 40\ V$	$V_C = 50\ V$	$I = 2\ A$
$V = ?$	$\theta = ?$	$P_w = ?$	$Z = ?$

(أ)

$$V = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2}$$

$$= \sqrt{(40)^2 + (80 - 50)^2}$$

$$= 50\ V$$

(ب)

$$\tan\theta = \frac{V_L - V_C}{V_R} = \frac{80 - 50}{40} = \frac{30}{40} = \frac{3}{4}$$

$$\theta = 36.87°$$

الدائرة **خواص حثية** لأن الجهد الكلى (V) يتقدم على التيار (I) بزاوية 36.87°

(جـ)

$$R = \frac{V_R}{I} = \frac{40}{2} = 20\ \Omega$$

$$P_w = I^2R = 4 \times 20 = 80\ W$$

(د)

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{50}{2} = 25\ \Omega$$

مثال (٢)

مولد تيار متردد تردده 400 Hz يعطى فرقًا فى الجهد عند طرفى مخرجه 30 V وصل بملف حثه الذاتى 0.06 H ومكثف سعته 5 μF على التوالى فإذا كانت المقاومة الأومية للدائرة 90 Ω، **أوجد :**

(أ) المفاعلة الحثية للملف والمفاعلة السعوية للمكثف.

(ب) معاوقة الدائرة. (جـ) شدة التيار. (د) زاوية الطور بين الجهد الكلى والتيار.

الحـــل

$C = 5 \times 10^{-6}\ F$	$L = 0.06\ H$	$f = 400\ Hz$	$V = 30\ V$	$R = 90\ \Omega$
$X_L = ?$	$X_C = ?$	$Z = ?$	$I = ?$	$\theta = ?$

(أ)

$X_L = 2\pi f L = 2 \times \frac{22}{7} \times 400 \times 0.06 = \mathbf{150.86\ \Omega}$

$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2 \times \frac{22}{7} \times 400 \times 5 \times 10^{-6}} = \mathbf{79.55\ \Omega}$

(ب)

$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{(90)^2 + (150.86 - 79.55)^2}$

$= \mathbf{114.83\ \Omega}$

(جـ)

$I = \frac{V}{Z} = \frac{30}{114.83} = \mathbf{0.26\ A}$

(د)

$\tan\theta = \frac{X_L - X_C}{R} = \frac{150.86 - 79.55}{90}$

$\therefore \theta = 38.39°$

أى أن الجهد الكلى يتقدم على التيار بزاوية قدرها **38.39°**

مثال (٣)

الشكل المقابل يوضح دائرة تيار متردد تحتوى على مقاومة أومية وملف حث ومكثف، **احسب** :

(أ) شدة التيار المار بالدائرة.

(ب) قراءة كل من الفولتميترات الأربعة.

200 V

R = 20 Ω $X_L = 30\ \Omega$ $X_C = 15\ \Omega$

V_1 V_2 V_3 V_4

الحل

V = 200 V	R = 20 Ω	$X_L = 30\ \Omega$	$X_C = 15\ \Omega$

I = ?	$V_1 = ?$	$V_2 = ?$	$V_3 = ?$	$V_4 = ?$

(أ)

$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$

$= \sqrt{(20)^2 + (30 - 15)^2}$

$= 25\ \Omega$

$I = \frac{V}{Z} = \frac{200}{25} = \mathbf{8\ A}$

(ب)

$V_1 = IR = 8 \times 20 = 160\ V$

$V_2 = IX_L = 8 \times 30 = 240\ V$

$V_3 = IX_C = 8 \times 15 = 120\ V$

$V_4 = V_2 - V_3$

$= 240 - 120$

$= 120\ V$

43 اختبـر نفسك



اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

١ دائـرة تيـار متردد تحتوى على مقاومة أومية قيمتها R وملف حث مفاعلته الحثية تسـاوى 3 R ومكثف مفاعلته السعوية تساوى 2 R متصلة على التوالى، فإن زاوية الطور تساوى ....

(أ) 30° (ب) 60° (جـ) 0° (د) 45°

٢ ملف دينامو يتكون من 200 لفة مساحة مقطع كل منها $\frac{2}{11}\ m^2$ ويدور الملف بتردد 50 دورة/ث موضوع فى مجال مغناطيسى منتظم كثافة فيضه $2 \times 10^{-2}\ T$، فإذا تم توصيل طرفاه بمكثف وملف حث مهمل المقاومة الأومية على التوالى كانت المفاعلة السعوية للمكثف $140\ \Omega$ والمفاعلة الحثية للملف $110\ \Omega$، فإذا كانت المقاومة الأومية فى الدائرة $40\ \Omega$ فإن القيمة الفعالة للتيار المار فى الدائرة تساوى ....

(أ) 2.42 A (ب) 2.64 A

(جـ) 3.23 A (د) 4.45 A

الفصل 4

الدرس الثالث

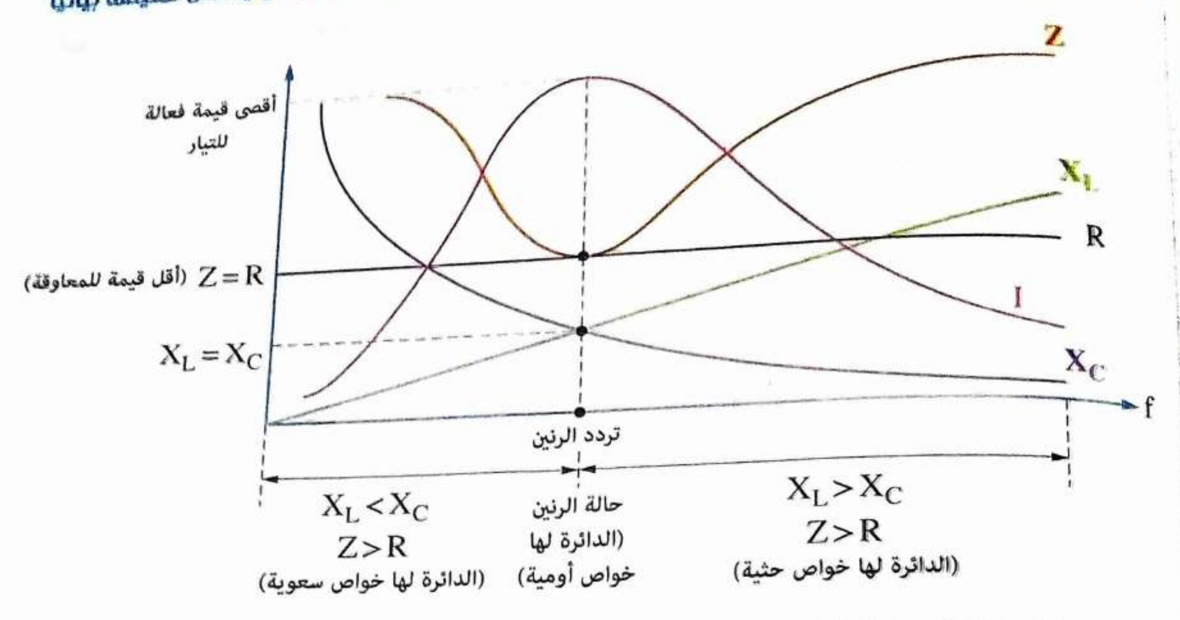
- الدائرة المهتزة.
- دائـــرة الرنيـــن.



في هذا الدرس سوف نتعرف :

- حالة الرنين.
- الدائرة المهتزة.
- دائرة الرنين.

درست خلال هذا الفصل العلاقة بين كل من R و X_L و X_C و Z و I وتردد التيار والتى يمكن تمثيلها بيانيًا بالشكل التالى، ومنه :



- تظل قيمة **المقاومة الأومية (R)** ثابتة بتغير تردد التيار.
- تزداد **المفاعلة الحثية للملف (X_L)** بزيادة تردد التيار ($X_L \propto f$).
- تقل **المفاعلة السعوية للمكثف (X_C)** بزيادة تردد التيار ($X_C \propto \frac{1}{f}$).
- مبتدءًا من التردد = صفر، بزيادة تردد التيار :
  - تقل **معاوقة الدائرة (Z)** حتى تصل إلى نهاية صغرى تساوى (R) عندما تكون $X_L = X_C$ وهو ما يطلق عليه **حالة الرنين**، ثم تزداد **معاوقة الدائرة (Z)** بعد ذلك بزيادة تردد التيار :
  - تزداد **القيمة الفعالة للتيار (I)** المار بالدائرة حتى تصل إلى نهاية عظمى (I_{max}) عندما تكون $X_L = X_C$ ثم تقل بعد ذلك بزيادة التردد، ويرجع ذلك إلى أن شدة التيار تتناسب عكسيًا مع معاوقة الدائرة.

حالة الرنين

* **عندما تكون دائرة RLC فى حالة رنين، فإن :**

1. المفاعلة الحثية للملف (X_L) = المفاعلة السعوية للمكثف (X_C) وتلاشى كل منهما تأثير الأخرى.
2. فرق الجهد بين طرفى الملف (V_L) = فرق الجهد بين طرفى المكثف (V_C).
3. فرق الجهد بين طرفى المقاومة (V_R) = فرق الجهد الكلى بين طرفى المصدر المتردد (V).
4. الدائرة يكون لها أقل معاوقة وتساوى المقاومة الأومية (Z = R).

5. الدائرة يمر فيها أكبر قيمة فعالة للتيار وتحسب من العلاقة $\left(I = \frac{V}{R}\right)$.
6. التيار يتفق مع فرق الجهد الكلى فى الطور أى أن زاوية الطور بينهما (θ) = صفر.
7. تردد الدائرة (تردد الرنين) مساوى لتردد المصدر.

إذا تحقق أحد هذه الشروط تتحقق باقى الشروط.

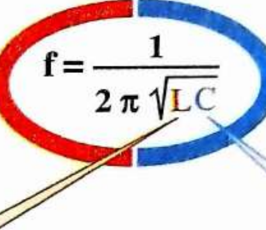
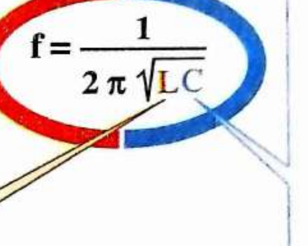
استنتاج تردد الرنين

*** فى حالة الرنين تتساوى المفاعلة الحثية مع المفاعلة السعوية :**

$$\because X_L = X_C \qquad \therefore 2\pi f L = \frac{1}{2\pi f C}$$

$$\therefore f^2 = \frac{1}{4\pi^2 LC} \qquad \therefore f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

العوامل التى يتوقف عليها تردد الرنين

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

1. **سعة المكثف :**

يتناسب تردد الرنين تناسبًا **عكسيًا** مع الجذر التربيعى لسعة المكثف.

(graph: f against $\frac{1}{\sqrt{C}}$)

$$\text{slope} = \frac{\Delta f}{\Delta\left(\frac{1}{\sqrt{C}}\right)} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L}}$$

2. **معامل الحث الذاتى للملف :**

يتناسب تردد الرنين تناسبًا **عكسيًا** مع الجذر التربيعى لمعامل الحث الذاتى للملف.

(graph: f against $\frac{1}{\sqrt{L}}$)

$$\text{slope} = \frac{\Delta f}{\Delta\left(\frac{1}{\sqrt{L}}\right)} = \frac{1}{2\pi\sqrt{C}}$$

مثال

أوجد تردد التيار فى دائرة RLC فى حالة رنين إذا كان معامل الحث الذاتى للملف 16 mH وسعة المكثف 4.9 μF

الحل

L = 16 mH	C = 4.9 μF	f = ?

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\times\frac{22}{7}\times\sqrt{16\times10^{-3}\times4.9\times10^{-6}}} = \mathbf{568.18\ Hz}$$

إرشاد

• فى حالة المقارنة بين ترددى دائرتى رنين فإن :

$$\frac{f_1}{f_2} = \sqrt{\frac{L_2 C_2}{L_1 C_1}}$$

مثال

دائرة RLC فى حالة رنين بها مكثف C_1 سعته $18\ \mu F$ وتردد الرنين لها $2 \times 10^4\ Hz$ فإذا تم تغيير المكثف بآخر C_2 أصبح تردد الرنين للدائرة $3 \times 10^4\ Hz$ ، **احسب** سعة المكثف الثانى (C_2).

الحل

$C_1 = 18\ \mu F$	$f_1 = 2 \times 10^4\ Hz$	$f_2 = 3 \times 10^4\ Hz$	$C_2 = ?$

$$\frac{f_1}{f_2} = \sqrt{\frac{C_2}{C_1}} \quad , \quad \frac{2 \times 10^4}{3 \times 10^4} = \sqrt{\frac{C_2}{18}}$$

$$\frac{4}{9} = \frac{C_2}{18} \quad , \quad C_2 = 8\ \mu F$$

44 اختبر نفسك

محلول تفاعلياً

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

١ فى دائرة الرنين إذا زاد تردد التيار لأربعة أمثاله، فأى من التغييرات الآتية يؤدى للاحتفاظ بحالة الرنين فى الدائرة ؟

(أ) زيادة سعة المكثف للضعف وزيادة معامل الحث الذاتى لأربعة أمثال

(ب) زيادة سعة المكثف للضعف ونقص معامل الحث الذاتى للنصف

(ج) زيادة سعة المكثف للضعف وزيادة معامل الحث الذاتى للضعف

(د) نقص سعة المكثف للربع ونقص معامل الحث الذاتى للربع

٢ دائرة RLC فى حالة رنين تتكون من دينامو للتيار المتردد ومكثف ومقاومة أومية وملف حث مهمل المقاومة الأومية جميعها متصلة على التوالى، فإن الدائرة تظل فى حالة رنين بالرغم من تغيير مقدار ....

(أ) سرعة دوران ملف الدينامو

(ب) سعة المكثف

(ج) المقاومة الأومية

(د) معامل الحث الذاتى للملف

الدائرة المهتزة Oscillator Circuit

على هيئة مجال مغناطيسي مع الطاقة المخزونة في

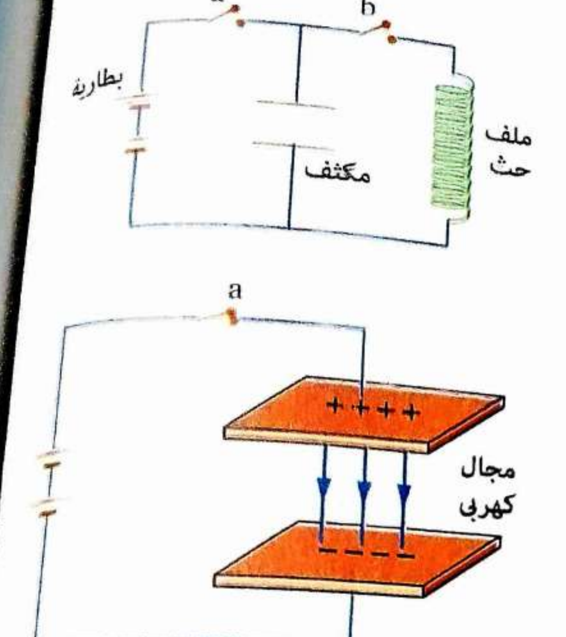
الدائرة المهتزة

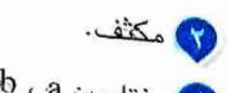
دائرة كهربية يحدث بها تبادل للطاقة المخزونة في ملف حث على هيئة مجال مغناطيسي مع الطاقة المخزونة في مكثف على هيئة مجال كهربي.

الاستخدام

تستخدم في أجهزة إرسال الموجات اللاسلكية.

التركيب

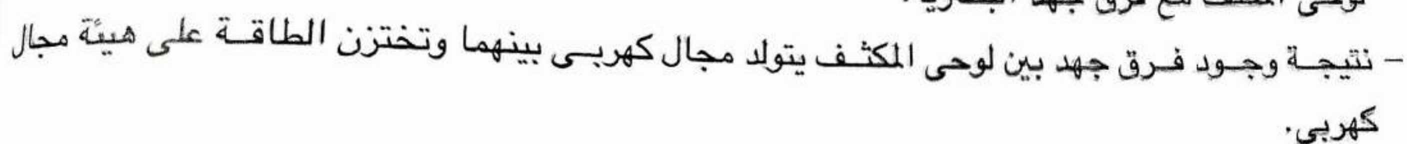


١. ملف حث له مقاومة صغيرة جداً.
٢. مكثف. 
٣. مصدر تيار مستمر (بطارية).
٤. مفتاحين a ، b

شرح العمل

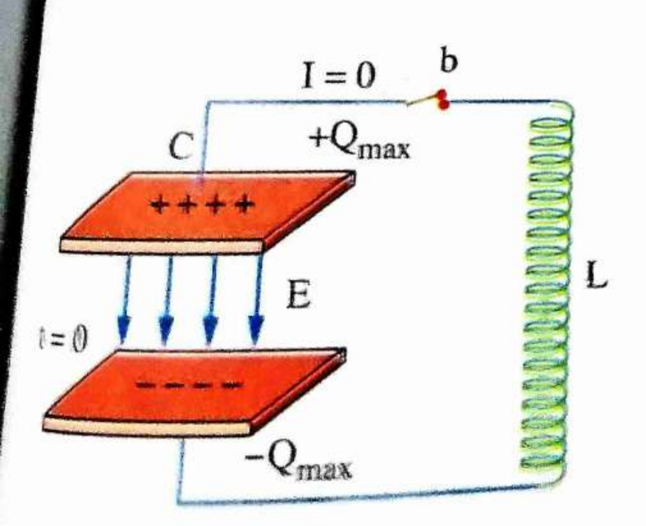
١. **عند غلق المفتاح a وترك المفتاح b مفتوحًا :**

- يمر تيار لحظي من البطارية إلى المكثف بسبب شحن لوح المكثف المتصل بالقطب الموجب للبطارية بشحنة موجبة وشحن لوح المكثف المتصل بالقطب السالب للبطارية بشحنة سالبة.
- يتوقف مرور التيار الكهربي عندما يتساوى فرق الجهد بين لوحي المكثف مع فرق جهد البطارية.



- نتيجة وجود فرق جهد بين لوحي المكثف يتولد مجال كهربي بينهما وتختزن الطاقة على هيئة مجال كهربي.
- عند فتح المفتاح a يبقى المكثف مشحونًا.

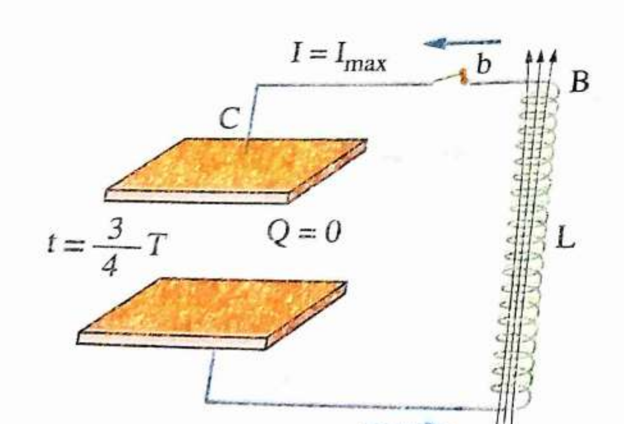
٢. **عند غلق المفتاح b والإبقاء على المفتاح a مفتوح :**



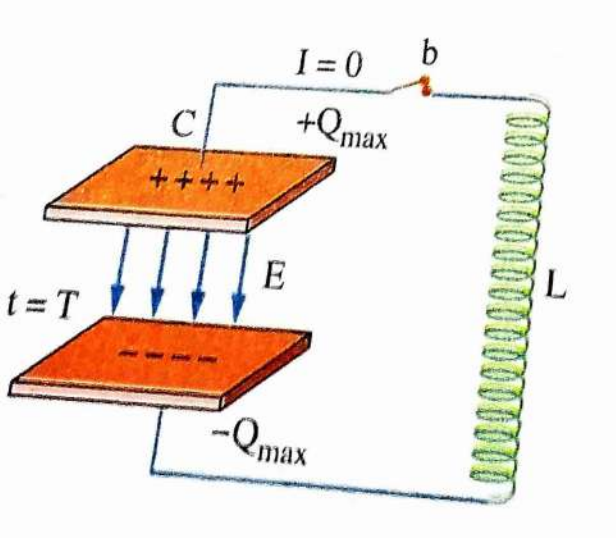
- يبدأ المكثف تفريغ شحنته من اللوح الموجب إلى اللوح السالب خلال الدائرة الخارجية (عبر الملف)، وأثناء تناقص الشحنة المتراكمة على المكثف يقل فرق الجهد تدريجيًا بين لوحيه وتقل الطاقة المختزنة فيه على هيئة مجال كهربي.
- بزيادة المعدل الزمني للتغير في الشحنة التي يفرغها المكثف تزداد قيمة التيار المار في الملف مما يؤدي إلى زيادة شدة المجال المغناطيسي حول الملف وزيادة الطاقة المختزنة فيه على هيئة مجال مغناطيسي.

- عندما يفرغ المكثف شحنته بالكامل ينعدم فرق الجهد بين لوحيه وتصبح شدة التيار المار فى الملف قيمة عظمى وتكون الطاقة الكهربية التى كانت مختزنة فى المكثف قد تحولت بالكامل إلى طاقة مغناطيسية مختزنة بالملف.

- تبدأ شدة التيار خلال الملف فى التناقص لعدم وجود فرق جهد بين لوحى المكثف مما يؤدى إلى تولد قوة دافعة كهربية مستحثة طردية بالحث الذاتى تؤدى إلى سحب المزيد من الشحنة الكهربية من اللوح الذى كان موجبًا فى اتجاه اللوح الآخر.
- يُشحن لوح المكثف تدريجيًا بشحنة معاكسة لما كانت عليه شحنته ويزداد فرق الجهد بين لوحيه وتتحول الطاقة المغناطيسية المختزنة فى الملف تدريجيًا إلى طاقة كهربية فى المكثف.

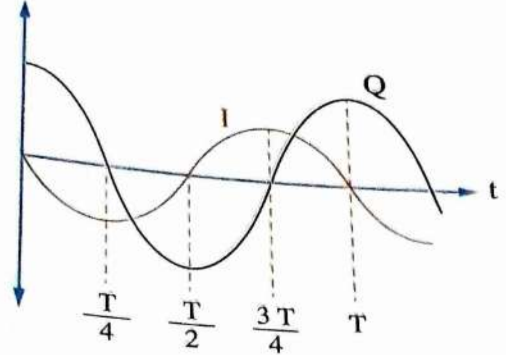


- عندما يكتمل شحن المكثف يصل كل من فرق الجهد وشدة المجال الكهربى بين لوحيه إلى قيمة عظمى وتكون الطاقة المغناطيسية التى كانت مختزنة بالملف قد تحولت بالكامل إلى طاقة كهربية مختزنة بالمكثف.



وهكذا تتكرر عمليتى التفريغ والشحن وتحدث اهتزازات كهربية سريعة جدًا فى الدائرة (أى يمر بها تيار متردد تردده f) يحدث خلالها تبادل الطاقة باستمرار بين المجالين الكهربى والمغناطيسى.

* ويمكن تلخيص التغيرات الحادثة فى الشحنة المتراكمة على لوحى المكثف وشدة التيار المار فى الملف فى الشكل البيانى التالى :



ملاحظات

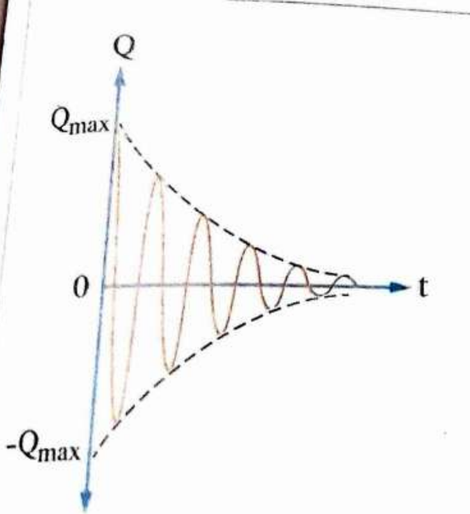
* **تتوقف عملية الشحن والتفريغ فى الدائرة المهتزة بعد فترة،**

لوجود مقاومة فى الملف وأسلاك التوصيل فيتحول جزء من الطاقة الكهربية إلى طاقة حرارية مما يؤدى إلى فقـد تدريجى فى الطاقـة الكهربية فتقل شدة التيار المتردد فى الدائـرة تدريجيًا ويقـل أقصى فرق جـهد بين لوحى المكثف تدريجيًا إلى أن ينعدم وتتوقف عمليتى الشحن والتفريغ وينعدم التيار.

* **لكى تستمر عملية الشحن والتفريغ فى الدائرة المهتـزة يجب تغذية المكثف بشحنات إضافية كل فترة،**

لتعويض الفقد المستمر فى الطاقة الكهربية الناتج عن مقاومة الملف والأسلاك الأخرى.

* **يمثل الشكل البيانى المقابل اضمحلال الشحنة على لوحى المكثف بمرور الزمن (ذبذبة مضمحلة).**



دائرة الرنين (التوليف) Resonant (Tuning)

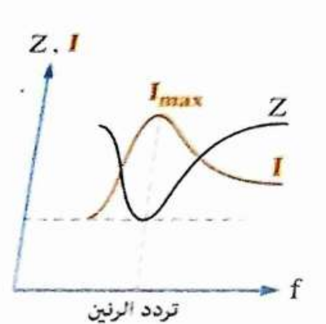
دائرة الرنين

دائرة تحتوى على مقاومة وملف حث ومكثف ومصدر متردد ولا تسمح إلا بمرور التيار الذى يتفق تردده مع ترددها أو يكون قريبًا جدًا منه.

الاستخدام

تستخدم فى أجهزة الاستقبال اللاسلكى لاختيار موجة البث المراد استقبالها.

التركيب



1. مكثف متغير السعة.
2. ملف حث مقاومته صغيرة ويمكن تغيير معامل حثه الذاتى.
3. مصدر تيار متردد يمكن تغيير تردده.

شرح العمل

عند تغيير تردد المصدر الكهربى المتردد فإن القيمة الفعالة للتيار تتغير حيث :

- تقل كلما زاد الفرق بين تردد المصدر وتردد الدائرة.
- تزيد كلما قل الفرق بين تردد المصدر وتردد الدائرة.
- تكون أكبر ما يمكن إذا أصبح تردد المصدر مساوى لتردد الدائرة (أى عندما تتساوى المفاعلة الحثية مع المفاعلة السعوية) وتكون الدائرة فى حالة رنين.

Z . I

I_{max}

Z

I

f

تردد الرنين

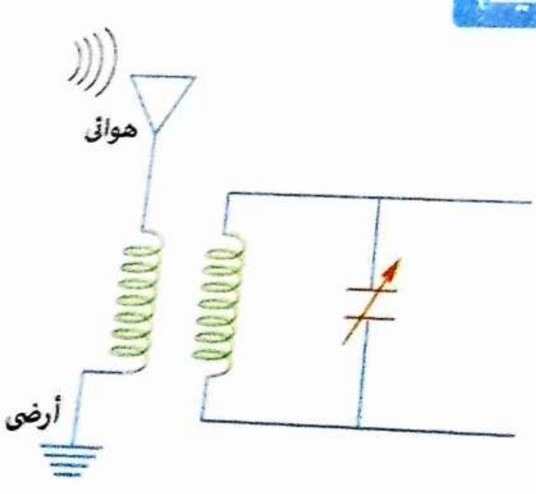
* **مما سبق نستنتج أنه** : إذا أثر فى دائرة توليف مصادر كهربية مختلفة التردد فى وقت واحد فإن الدائرة لا تسمح إلا بمرور التيار الذى يتفق تردده مع تردد الدائرة أو يكون قريبًا جدًا منه وتكون الدائرة فى تلك اللحظة فى حالة رنين.

ملاحظات

* يمكن تغيير تردد المصدر أو سعة المكثف أو معامل الحث الذاتى للملف حتى يتفق تردد الدائرة مع تردد المصدر (الموجة الكهرومغناطيسية).

* يمكن تشبيه ما يحدث فى دائرة الرنين بالرنين فى الصوت فمثلًا عندما يتساوى تردد شوكتين رنانتين مهتزتين تقوى شدة الصوت وعند اختلاف ترددهما تضعف شدة الصوت.

عمل دائرة الرنين فى أجهزة الاستقبال اللاسلكى (دائرة التوليف)



* تتصل دائرة التوليف (الرنين) فى جهاز الاستقبال اللاسلكى بهوائى جهاز الاستقبال (الإيريال).
* تصل إلى الهوائى موجات محطات الإذاعة المختلفة ولكل منها تردد معين.
* تؤثر هذه الترددات على الهوائى وتولد فى ملفه تيارات مختلفة لها نفس تردد المحطات الإذاعية.

• تضبط دائرة الرنين في جهاز الاستقبال حتى تسمح فقط بمرور التيار المعبر عن الموجة اللاسلكية الذى يتفق تردده مع تردد الدائرة وعندما تريد الاستماع إلى إذاعة معينة فإنك تغير من تردد الدائرة بتغيير سعة المكثف (C) أو معامل الحث الذاتى للملف (L) فيمر التيار الذى يتفق تردده مع تردد الدائرة ثم يمر فى جهاز الاستقبال ليخضع لعمليات معينة مثل التكبير والتقويم وفصل التيار المعبر عن الصوت الذى يمر فى السماعة.



45 اختبر نفسك

مجاب عنها

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

1 فى دائرة الاستقبال اللاسلكى يمر فى الدائرة أقصى تيار إذا كان تردد الموجة الكهرومغناطيسية .... تردد الدائرة.

(أ) ضعف

(ب) نصف

(ج) يساوى

(د) ثلاثة أمثال

2 النسبة بين معاوقة دائرة استقبال فى حالة رنين عند استقبالها إشارة لاسلكية بتردد f ومعاوقتها فى حالة رنين أخرى عند استقبالها لإشارة لاسلكية أخرى بتردد 2 f تكون ....

(أ) 0.25

(ب) 0.5

(ج) 1

(د) 2

الوحدة الثالثة

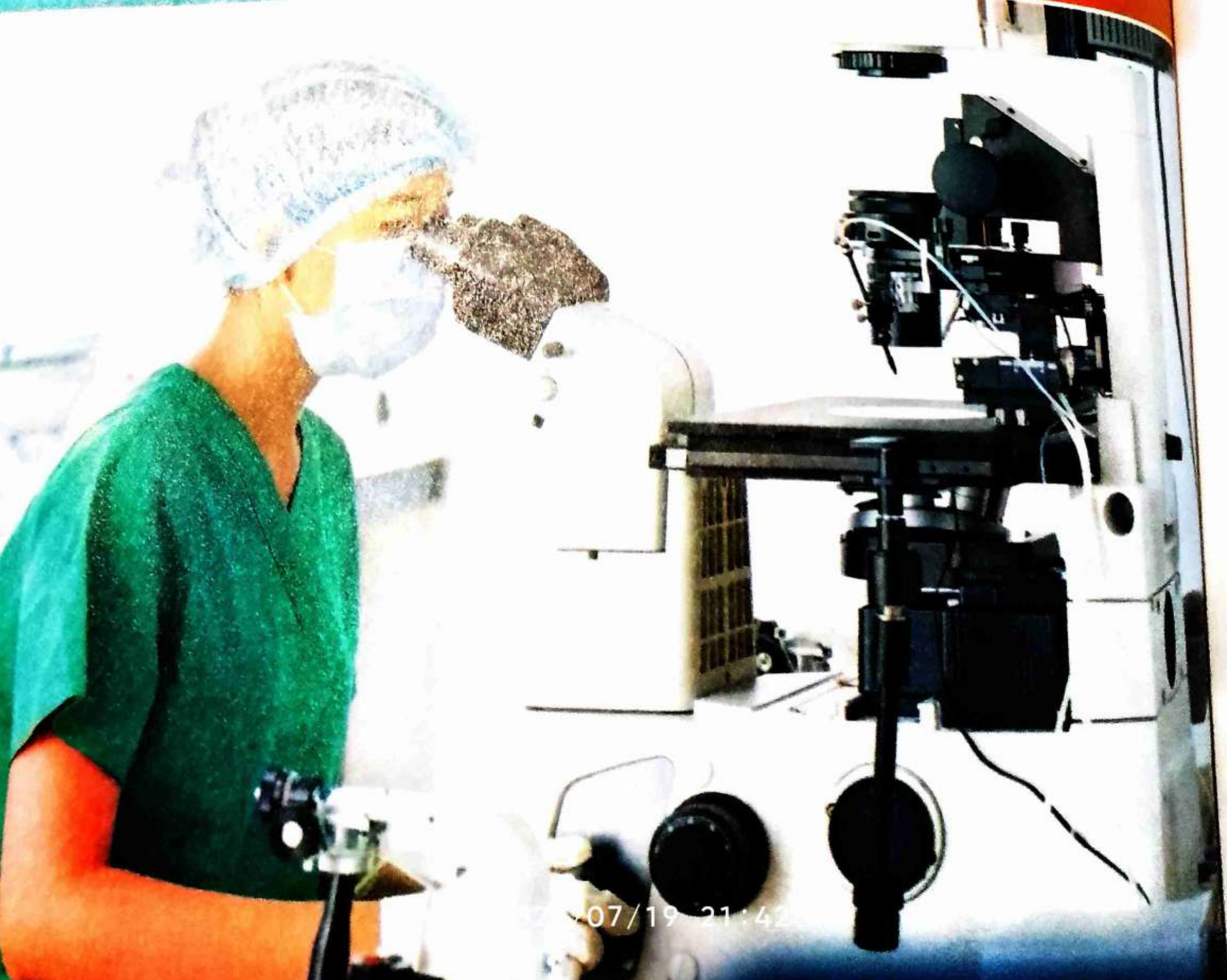
مقدمة في الفيزياء الحديثة

الفصل 5

ازدواجية الموجة والجسيم

الدرس الأول

الدرس الثاني







فى هذا الدرس سوف نتعرف :

- إشعاع الجسم الأسود.
- أنبوبة شعاع الكاثود.
- الخلية الكهروضوئية.

* يندرج كل ما درسناه فى الفصول السابقة تحت ما يسمى *الفيزياء الكلاسيكية*، وهى الفيزياء التى تفسر المشاهدات اليومية والتجارب المعتادة مثل : ميكانيكا نيوتن، والحرارة والكهرومغناطيسية والموجات والبصريات.

* فى نهاية القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين أفضت العديد من التجارب والظواهر المكتشفة حديثًا إلى نتائج لا تخضع لتفسيرات قوانين الفيزياء الكلاسيكية، مثل :

- الظواهر الإلكترونية التى هى أساس نظم الإلكترونيات والاتصالات الحديثة.
- دراسة الأطياف الذرية.
- التفاعلات الكيميائية على مستوى الجزىء.

هل تعلم ؟

تمكن العالم أحمد زويل من تصوير بعض التفاعلات بين الجزيئات فى أزمنة صغيرة جدا تقدر بالفيمتوثانية باستخدام كاميرا الليزر فائقة السرعة بما أهله للفوز بجائزة نوبل للكيمياء عام ١٩٩٩م

* فى محاولة لتفسير هذه المشاهدات نشأ فرع جديد يطلق عليه *فيزياء الكم*، وهو فرع يتعامل مع الظواهر العلمية على المستوى الذرى أو دون الذرى والتى قد لا نراها فى حياتنا اليومية بصورة مباشرة ولكن ندرك أثرها.

* **مما سبق يمكن تعريف كل من الفيزياء الكلاسيكية وفيزياء الكم كالتالى :**

الفيزياء الكلاسيكية

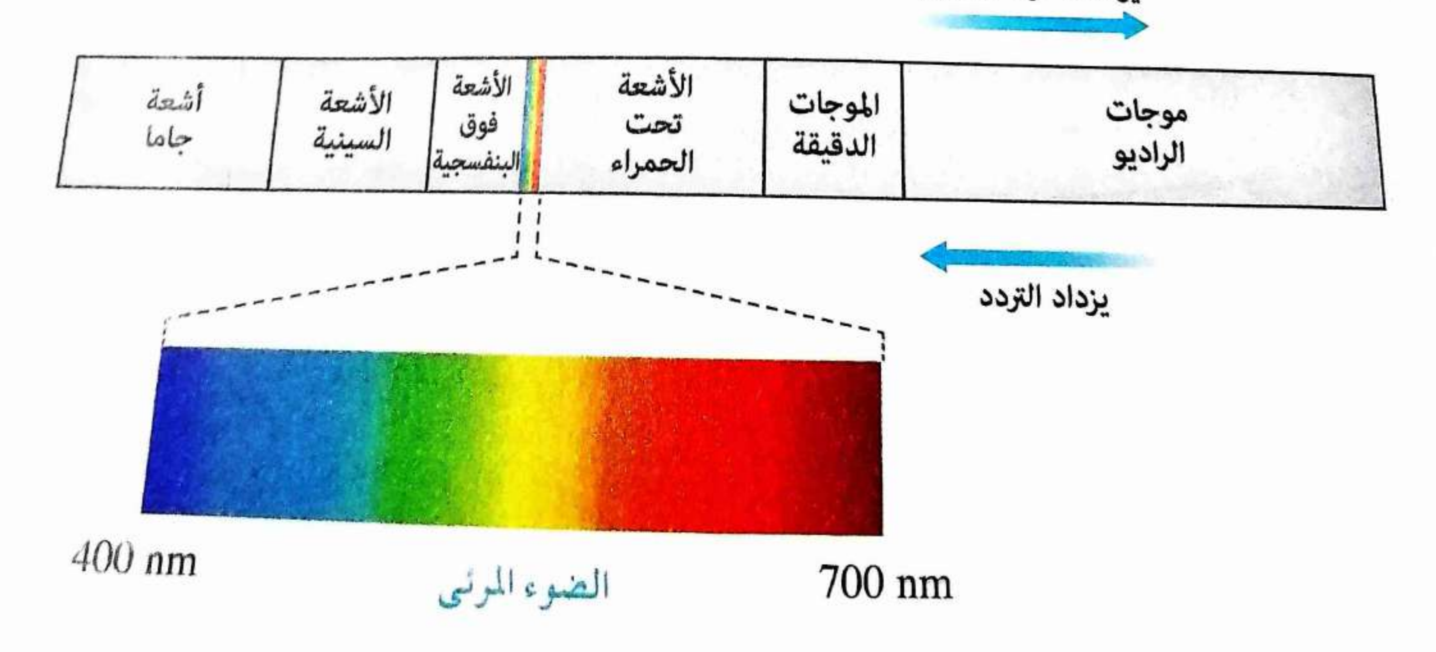
الفيزياء التى تمكننا من تفسير المشاهدات اليومية والتجارب المعتادة مثل دراستنا للحرارة والكهرباء والموجات كالصوت والضوء وخصائصها.

فيزياء الكم

الفيزياء التى تمكننا من دراسة وتفسير ظواهر على المستوى الذرى مثل دراسة الأطياف الذرية والظواهر الإلكترونية أو على مستوى الجزىء مثل دراسة التفاعلات الكيميائية.

الطيف الكهرومغناطيسى فى الفيزياء الكلاسيكية

* **تصور علماء الفيزياء الكلاسيكية الضوء على أنه موجات كهرومغناطيسية تختلف فى التردد والطول الموجى كما بالشكل :**



* نلاحظ من الشكل السابق أن الطيف الكهرومغناطيسى يتضمن الضوء المرئى كأحد مكوناته.

الخصائص الموجية للطيف الكهرومغناطيسى

١ الانتشار فى خطوط مستقيمة.
٢ الانعكاس والانكسار والتداخل والحيود.
٣ لا يحتاج وسط مادى لانتشاره.
٤ ينتشر فى الفراغ بسرعة ثابتة قدرها 3×10^8 m/s
٥ يتناسب الطول الموجى (λ) للإشعاع الكهرومغناطيسى المنتشر فى وسط ما تناسبًا عكسيًا مع تردده (υ) فأشعة جاما أقصرها فى الطول الموجى وأعلاها فى التردد.

* سندرس فى هذا الفصل بعض الظواهر التى لم تتمكن الفيزياء الكلاسيكية من تفسيرها ولكن تم تفسيرها عن طريق فيزياء الكم، ومنها :



أولًا إشعاع الجسم الأسود Blackbody Radiation

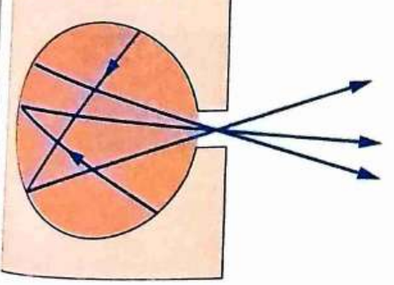
* معظم الأجسام تعكس جزء من الإشعاع الساقط عليها وتمتص جزء ثم تعيد إشعاع جزء من الإشعاع الممتص إلى الوسط المحيط بها،

ولكن هناك نظام (جسم) مثالى يمتص كل ما يسقط عليه من أشعة ذات أطوال موجية مختلفة **(ممتص مثالى)** ثم يعيد إشعاعها مرة أخرى **(باعث مثالى)** يطلق عليه **الجسم الأسود**، وهو جسم افتراضى غير موجود فى الطبيعة.

* قام العلماء بتشبيه إشعاع الجسم الأسود بتجويف مغلق به ثقب صغير وما بداخل هذا التجويف يبدو أسود وذلك لأن :

– معظم الإشعاع يظل محصورًا بداخل التجويف نتيجة الانعكاسات المتتالية.

– لا يخرج من هذا الإشعاع إلا جزء صغير (حسب درجة حرارة التجويف) يمكن اعتباره إشعاع صادر عن جسم أسود.


تصور للجسم الأسود

* **مما سبق يمكن تعريف الجسم الأسود كالتالى :**

الجسم الأسود

جسم يمتص كل ما يسقط عليه من أشعة ذات أطوال موجية مختلفة (ممتص مثالى) ثم يعيد إشعاعها مرة أخرى (باعث مثالى).

الأجسام المتوهجة والأجسام غير المتوهجة

* تنقسم الأجسام التى ينبعث منها إشعاع كهرومغناطيسى إلى :

أجسام متوهجة	أجسام غير متوهجة
أجسام يصدر منها مدى طيفى واسع من الإشعاع الضوئى والإشعاع الحرارى	أجسام يكون معظم الإشعاع الصادر منها فى مدى الإشعاع الحرارى
مثـــل	
الشمس ، فتيلة المصباح ، النجوم ، قطعة الفحم المتقدة	الأرض

* تتمثل المشكلة الرئيسية فى دراسة إشعاع الجسم الأسود فى تفسير توزيع الأطوال الموجية لهذا الإشعاع وقد لاحظ العلماء أن مدى وشدة الإشعاع الكهرومغناطيسى المنبعث من الجسم يختلف باختلاف درجة حرارته.

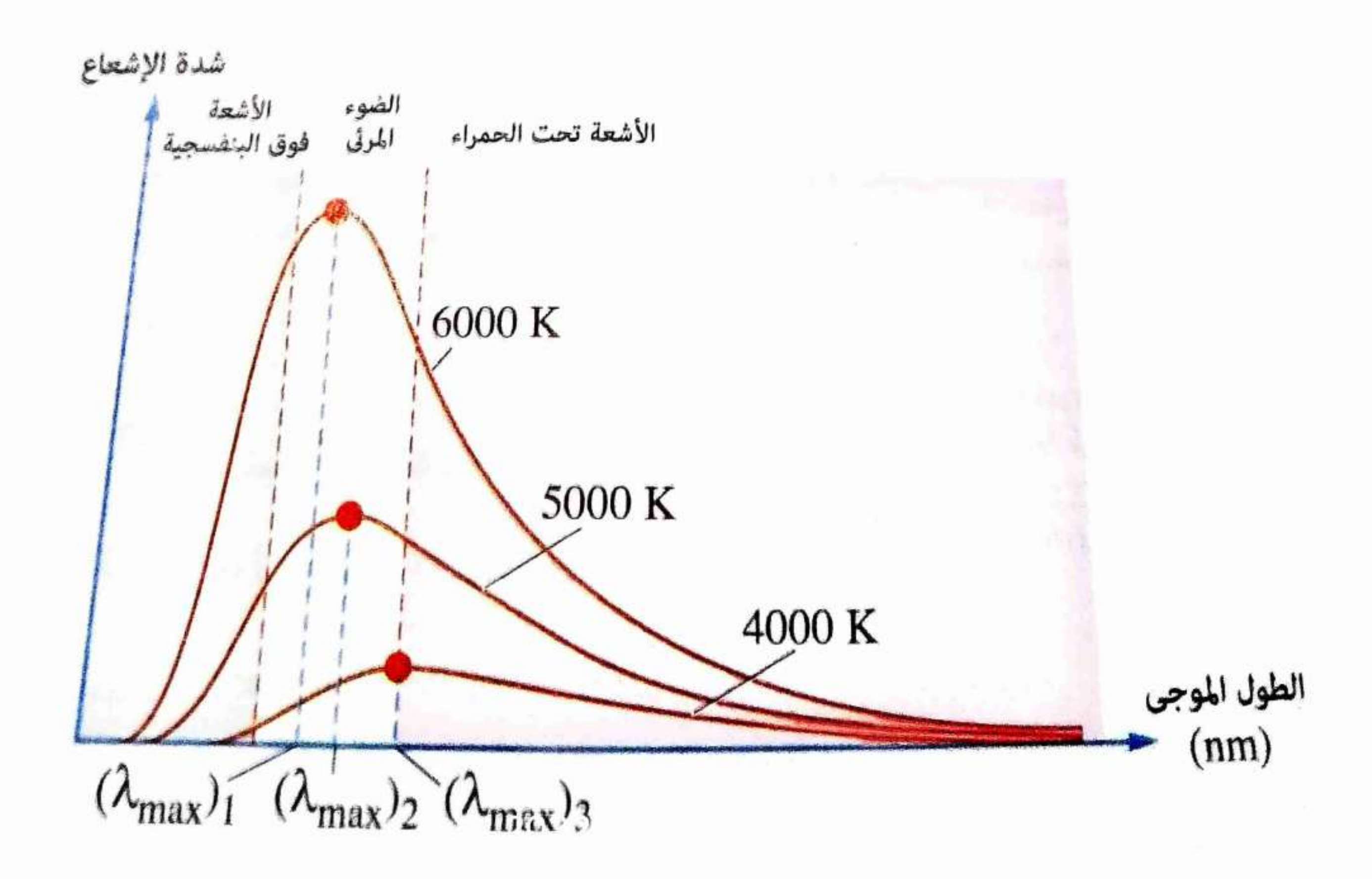
لأن الأجسام لا تشع كل الأطوال الموجية بنفس الشدة ولكن تختلف شدة الإشعاع (المعدل الزمنى للطاقة التى يشعها الجسم لوحدة المساحة) حسب الطول الموجى، والطول الموجى الذى له أقصى شدة إشعاع يتوقف على درجة حرارة الجسم لذلك يتغير اللون الغالب على الضوء الصادر من الجسم بتغير درجة حرارته.

منحنى بلانك Planck's Distribution

* من خلال دراسة الإشعاعات الصادرة من أجسام مختلفة عند درجات حرارة مطلقة مختلفة وضع منحنى بيانى يوضح هذه العلاقة يسمى **منحنى بلانك**.

منحنى بلانك

منحنى يوضح العلاقة البيانية بين شدة الإشعاع الصادر من الجسم المشع والطول الموجى للطيف المنبعث عند درجة حرارة معينة.



- من الشكل السابق يمكن وصف منحنى بلانك كالتالى :

1. عند الأطوال الموجية الطويلة جدًا والقصيرة جدًا تقترب شدة الإشعاع من الصفر.
2. عند قيمة معينة من الطول الموجى (λ_{max}) تكون شدة الإشعاع قيمة عظمى (قمة المنحنى).
3. بارتفاع درجة حرارة الجسم تزداد الشدة الكلية للإشعاع الصادر عنه وتزداد المساحة تحت المنحنى ويزداد مدى الأطوال الموجية للأشعة ويقل الطول الموجى (λ_{max}) الذى يقابل أقصى شدة إشعاع أى تزاح قمة المنحنى جهة أطوال موجية أقصر.
4. يتكرر هذا المنحنى مع كل الأجسام الساخنة التى تشع طيفًا متصلًا.

فمثلا الإشعاع الصادر من :

الشمس	فتيلة مصباح متوهج	سطح الأرض
	درجة حرارة الجسم	
6000 K	3000 K	300 K تقريبًا
	الطول الموجى الذى عنده أقصى شدة إشعاع يقع فى منطقة	
الضوء المرئى ($\lambda_{max} \simeq 0.5\ \mu m = 500\ nm$)	الأشعة تحت الحمراء ($\lambda_{max} \simeq 1\ \mu m = 1000\ nm$)	الأشعة تحت الحمراء ($\lambda_{max} \simeq 10\ \mu m = 10000\ nm$)
	نسبة توزيع الإشعاع الصادر	
50% أشعة تحت حمراء 40% ضوء مرئى 10% باقى مناطق الطيف	80% أشعة تحت حمراء 20% ضوء مرئى	معظمه أشعة تحت حمراء

* من المشاهدات السابقة يتضح أن :

الطول الموجى الذى تصاحبه أقصى شدة إشعاع يتناسب عكسيًا مع درجة الحرارة المطلقة للجسم المشع ($\lambda_{max} \propto \frac{1}{T}$)، وهو ما يطلق عليه **قانون فين**.

أى أنه إذا تغيرت درجة الحرارة المطلقة للجسم الأسود من T_1 إلى T_2 يتغير الطول الموجى المصاحب لأقصى شدة إشعاع من $(\lambda_{max})_1$ إلى $(\lambda_{max})_2$، **بحيث يكون :**

$$\frac{(\lambda_{max})_1}{(\lambda_{max})_2} = \frac{T_2}{T_1}$$

شدة الإشعاع

الإشعاع الكهرومغناطيسى للشمس

الإشعاع الكهرومغناطيسى للأرض

$\lambda\ (\mu m)$

0.499

9.66

• لم تتمكن الفيزياء الكلاسيكية من تفسير هذه المشاهدات،

ثانيا تعتبر أن الإشعاع موجات كهرومغناطيسية متصلة وبالتالى فإنه من المتوقع زيادة شدة الإشعاع كلما زاد التردد (نقص الطول الموجى) بينما وجد عمليًا أن شدة الإشعاع تقل عند الترددات العالية (الأطوال الموجية القصيرة) كما بالشكل.

شدة الإشعاع

منحنى بلانك

التوقع الكلاسيكى

λ

بزيادة الطول الموجى يلاحظ أن شدة الإشعاع تزداد عمليًا وهو ما لا يتفق مع التوقع الكلاسيكى

بزيادة الطول الموجى تقل شدة الإشعاع وهو ما يتفق مع التوقع الكلاسيكى

ملاحظة

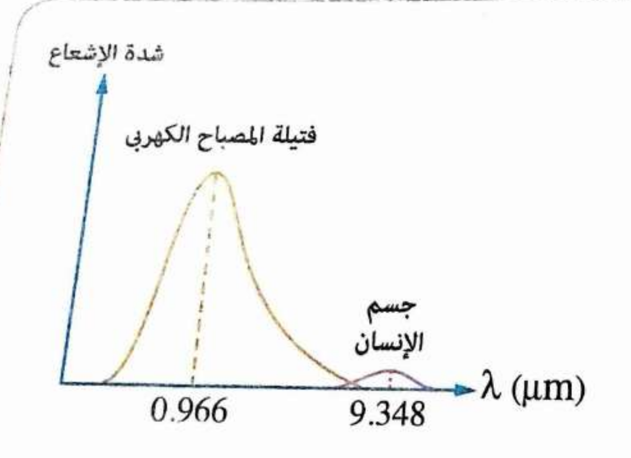
• **يزاح اللون الظاهر للإشعاع الناتج عن تسخين جسم حتى يصبح مضىء من الأحمر إلى الأصفر ثم أخيرا إلى الأزرق كلما زادت درجة الحرارة،**

لأنه طبقاً لقانون ڤين تقل قيمة الطول الموجى المصاحب لأقصى شدة إشعاع بزيادة درجة حرارة الجسم فيتحول اللون الغالب للإشعاع الصادر من الأحمر (طول موجى كبير) إلى الأزرق (طول موجى صغير) تدريجيًا مرورًا باللون الأصفر.

مثال

الشكل البيانى المقابل يوضح العلاقة بين شدة الإشعاع المنبعث من جسم الإنسان وفتيلة مصباح كهربى مع الطول الموجى للإشعاع المنبعث، فإذا علمت أن درجة حرارة جسم الإنسان 310 K،

احسب درجة حرارة فتيلة المصباح الكهربى.



الحل

$(\lambda_{max})_1 = 9.348\ \mu m$, $(\lambda_{max})_2 = 0.966\ \mu m$, $T_1 = 310\ K$, $T_2 = ?$

$$\frac{(\lambda_{max})_1}{(\lambda_{max})_2} = \frac{T_2}{T_1} \quad , \quad \frac{9.348}{0.966} = \frac{T_2}{310}$$

$$T_2 = 2999.88\ K$$

46 اختبر نفسك

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

١ سُخن قضيب من الحديد تدريجيًا فلوحظ ظهور ألوان مختلفة للإشعاع الصادر عنه عند درجات حرارة معينة، فما لون الإشعاع السائد الذى يظهر أولًا أثناء تسخينه ؟

(أ) البرتقالى (ب) الأحمر

(جـ) الأبيض (د) الأزرق

٢ نجم x الطول الموجى الذى له أقصى شدة إشعاع صادر عنه يقع فى منطقة الطيف المرئى ونجم آخر y الطول الموجى الذى له أقصى شدة إشعاع صادر عنه يقع فى منطقة الأشعة تحت الحمراء وبالتالى فإن درجة حرارة سطح النجم x ....

(أ) أكبر من درجة حرارة سطح النجم y (ب) أقل من درجة حرارة سطح النجم y

(جـ) تساوى درجة حرارة سطح النجم y (د) تقترب من 237 على تدريج كلفن

تفسير بلانك (عام ١٩٠٠م) لإشعاع الجسم الأسود

* **استطاع بلانك أن يفسر ظاهرة إشعاع الجسم الأسود بفرض عدة فروض هى :**

١ يتكون الإشعاع من بلايين من وحدات أو دفقات صغيرة من الطاقة تسمى كل منها كوانتم أو كم (أُطلق عليه فيما بعد فوتون) لا نلاحظها منفصلة ولكن نلاحظ خواص الإشعاع الصادر ككل، وهذه الخواص هى الخواص الكلاسيكية للموجات.

٢ طاقة كل فوتون $E = h\upsilon$، حيث : (h) ثابت بلانك ويساوى 6.625×10^{-34} J.s، (υ) التردد.

فوتون

٣ تصدر الفوتونات نتيجة تذبذب ذرات الجسم الذى يصدر الإشعاع.

٤ طاقة الذرات المتذبذبة منفصلة ومكماة وتأخذ مستويات الطاقة قيم $E = nh\upsilon$

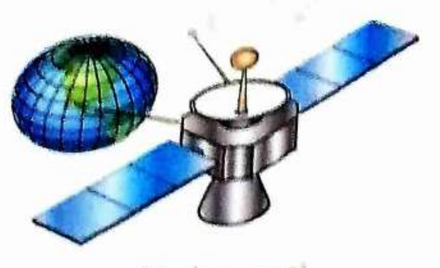
٥ عند انتقال الذرة المتذبذبة من مستوى أعلى للطاقة إلى مستوى أدنى للطاقة يصدر فوتون طاقته $E = h\upsilon$

٦ لا يصدر إشعاع من الذرات طالما كانت مستقرة فى مستوى طاقتها الأصلى (المستوى الأرضى).

٧ بزيادة تردد الإشعاع تزداد طاقة الفوتونات ويقل عددها المنبعث من الجسم المشع

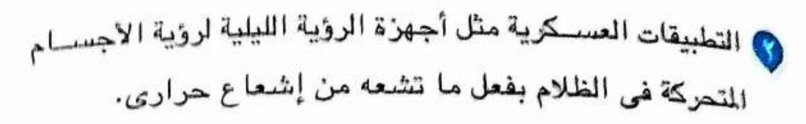
أى أن عند الأطوال الموجية القصيرة جدًا (الترددات العالية جدًا) تقل شدة الإشعاع وتقترب من الصفر

تطبيقات على الإشعاع الصادر من الأجسام المختلفة



تصوير سطح الأرض

١. تحديد مصادر الثروة الطبيعية حيث يمكن تصوير سطح الأرض باستخدام مناطق الطيف المختلفة (الأشعة تحت الحمراء المنبعثة من سطح الأرض - الضوء المرئى المنعكس عن سطح الأرض - الموجات الميكرومترية «موجات الميكروويف» المستخدمة فى الرادار) عن طريق أقمار صناعية وأجهزة قياس محمولة جوًا وأجهزة أرضية وتسمى هذه التقنية **الاستشعار عن بُعد**.



٢. التطبيقات العسكرية مثل أجهزة الرؤية الليلية لرؤية الأجسام المتحركة فى الظلام بفعل ما تشعه من إشعاع حرارى.



صورة حرارية

٣. يستخدم التصوير الحرارى فى الطب خاصةً فى مجال اكتشاف الأورام وعلم الأجنة.

٤. يستخدم التصوير الحرارى فى علم البحث الجنائى والأدلة الجنائية حيث يبقى الإشعاع الحرارى للجسم فترة حتى بعد تركه المكان.

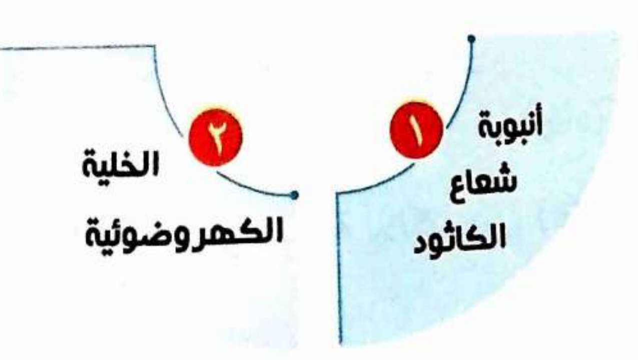
ثانيًا الانبعاث الحرارى والتأثير الكهروضوئى Thermionic Emission and Photoelectric Effect

* يحتوى أى فلز على أيونات موجبة وإلكترونات حرة تستطيع أن تتحرك حول الأيونات الموجبة داخل الفلز ولكنها لا تستطيع أن تغادره بسبب قوى التجاذب التى تجذبها دائمًا للداخل، وتسمى هذه القوى **حاجز جهد السطح**.

حاجز جهد السطح

قوى التجاذب التى تجذب الإلكترونات إلى داخل الفلز وتمنع تحررها من سطحه.

* إذا اكتسبت هذه الإلكترونات طاقة حرارية أو ضوئية يمكن أن تتحرر من الفلز إذا كانت هذه الطاقة كافية للتغلب على حاجز جهد السطح وهذه هى فكرة عمل :



١ أنبوبة شعاع الكاثود Cathode Ray Tube

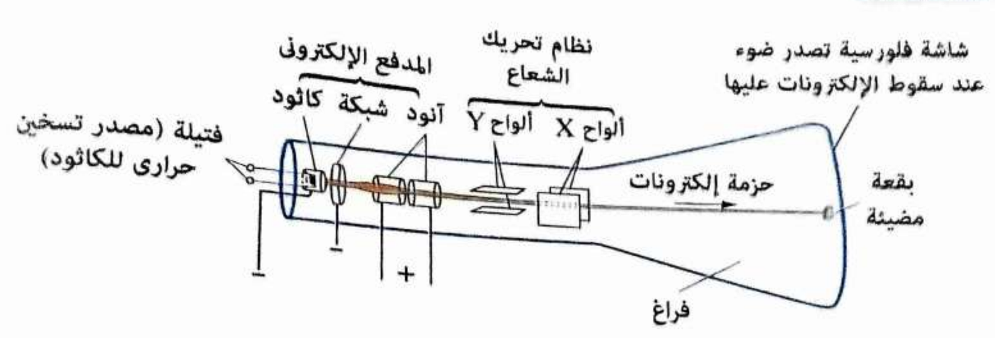
الاستخدام

تستخدم فى شاشة التليفزيون والكمبيوتر.

الأساس العلمى

انطلاق إلكترونات من سطح فلز عند تسخينه (الانبعاث الأيونى الحرارى أو الظاهرة الكهروحرارية).

التركيب وطريقة العمل



١ سطح معدنى سالب الجهد يسمى المهبط أو الكاثود يتم تسخينه بواسطة فتيلة تسخين فتنطلق بعض الإلكترونات من الكاثود بفعل الحرارة متغلبة على حاجز جهد سطح معدن الكاثود.

٢ شبكة يتم بواسطتها التحكم فى شدة الشعاع الإلكترونى حسب شدة الإشارة الكهربية المستقبلة وبالتالى تتحكم فى شدة إضاءة الشاشة الفلورسية عند اصطدام الشعاع الإلكترونى بها.

٣ مصعد موجب الجهد مجوف (آنود) مواجه للمهبط ويوجد بين المهبط والمصعد فرق جهد مستمر يعمل على تعجيل الإلكترونات وتنظيمها للحصول على شعاع إلكترونى.

٤ شاشة فلورسية تعطى وميضًا عند اصطدام الشعاع الإلكترونى بها وتتصل بالمصعد (الآنود) موجب الجهد فيمر تيار فى الدائرة الخارجية.

٥ مجالان كهربيان أو مغناطيسيان متعامدان بين الألواح X ، Y يعملان على توجيه مسار حزمة الإلكترونات، **لمسح** الشاشة نقطة بنقطة حتى تكتمل الصورة.

٦ تصطدم الإلكترونات بالشاشة محدثة ضوءًا تختلف شدته من نقطة لأخرى حسب شدة الشعاع الإلكترونى التى يمكن التحكم فيها بواسطة شدة الإشارة الكهربية المستقبلة بواسطة الشبكة التى تعترض طريق هذه الإلكترونات.

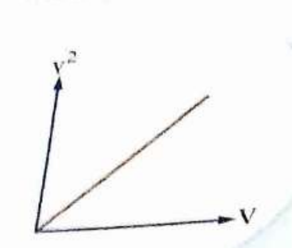
٧ أقصى طاقة حركة للإلكترون $(KE)_{max}$ عند وصوله للمصعد تتعين من العلاقة :

$$(KE)_{max} = \frac{1}{2} m_e v^2 = eV$$

حيث : (m_e) كتلة الإلكترون ، (v) أقصى سرعة للإلكترون، (e) شحنة الإلكترون ، (V) فرق الجهد بين الكاثود والآنود.

* تبعًا للعلاقة ($\frac{1}{2} m_e v^2 = eV$) تكون العلاقة البيانية بين مربع أقصى سرعة للإلكترونات المنبعثة من المهبط (v^2) وفرق الجهد بين المصعد والمهبط (V) كما بالشكل :

$$slope = \frac{\Delta v^2}{\Delta V} = \frac{2e}{m_e}$$



ملاحظة

* الطاقة بوحدة الجول = الطاقة بوحدة الإلكترون ڤولت × شحنة الإلكترون

أى أن $1\ eV = 1.6 \times 10^{-19}\ J$

مثال

أنبوبة أشعة الكاثود تعمل على فرق جهد 10 kV ، **أوجد** أقصى سرعة للإلكترونات المنبعثة من الكاثود عند وصولها للمصعد. (علمًا بأن : $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C ، $m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg)

الحل

$V = 10^4$ V	$m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg	$e = 1.6 \times 10^{-19}$ C	**v = ?**

$$\frac{1}{2} m_e v^2 = eV$$

$$v = \sqrt{\frac{2eV}{m_e}} = \sqrt{\frac{2 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 10^4}{9.1 \times 10^{-31}}} = \mathbf{5.93 \times 10^7\ m/s}$$

47 اختبر نفسك

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

فى أنبوبة أشعة الكاثود عند عدم تشغيل ألواح نظام التحكم ....

(أ) تظهر بقعة مضيئة مركزية على الشاشة الفلورسية

(ب) لا تضىء الشاشة الفلورسية

(ج) يزداد انحراف الشعاع الإلكترونى

(د) تزداد شدة الإضاءة على الشاشة

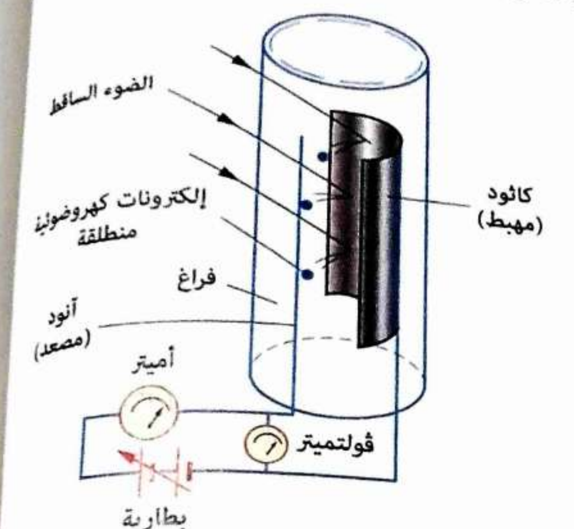
٢ الخلية الكهروضوئية

الاستخدام

تستخدم فى فتح وغلق الأبواب آليًا.

الأساس العلمى (فكرة العمل)

انطلاق إلكترونات من سطح فلز عند سقوط ضوء عليه (التأثير الكهروضوئى).



التركيب وطريقة العمل

تتكون الخلية الكهروضوئية من أنبوبة من مادة شفافة للضوء مفرغة من الهواء تحتوى على :

1. كاثود وهو عبارة عن سطح معدنى مقعر تنبعث منه إلكترونات عندما يسقط عليه ضوء.
2. آنود وهو عبارة عن سلك رفيع حتى لا يحجب الضوء الساقط على الكاثود ويلتقط الإلكترونات المنبعثة من الكاثود مما يسبب تياراً فى الدائرة الخارجية.

التصور الكلاسيكى

- تنطلق الإلكترونات والتى تسمى **الإلكترونات الكهروضوئية** وتزداد طاقة حركتها عند جميع الترددات بزيادة شدة الضوء الساقطة.
- إذا لم تكن شدة الضوء الساقط كافية فإنه يمكن بزيادة زمن سقوط ذلك الضوء أن تتراكم الطاقة وتتحرر الإلكترونات بعد فترة كافية من سقوط الضوء عليها.

المشاهدات العملية

1. يتوقف انبعاث **الإلكترونات الكهروضوئية** على تردد الموجة الساقطة وليس على شدتها، إذ لا تتحرر هذه الإلكترونات إلا إذا كان تردد الضوء الساقط أعلى من أو يساوى قيمة معينة تسمى **التردد الحرج** (υ_c) مهما كانت الشدة.
2. إذا كان تردد الموجة الساقطة يساوى أو أكبر من التردد الحرج (υ_c) فإن شدة التيار الكهروضوئى تزداد بزيادة شدة الضوء الساقط،

لزيادة معدل سقوط الفوتونات على وحدة المساحات من السطح فى وحدة الزمن وبالتالى يزداد معدل تحرر الإلكترونات من السطح فتزداد شدة التيار الكهروضوئى.

الإلكترونات الكهروضوئية

الإلكترونات المنبعثة من أسطح المعادن عندما يسقط عليها ضوء ذو تردد أكبر من أو يساوى التردد الحرج.

التردد الحرج لسطح (υ_c)

أقل تردد للضوء الساقط يكفى لتحرير إلكترون من سطح معدن دون إكسابه طاقة حركة.

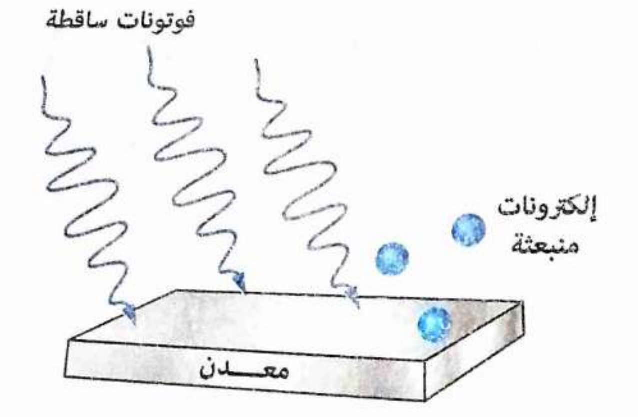
3. تتوقف طاقة الحركة العظمى للإلكترونات المنطلقة على نوع مادة السطح وتردد الضوء الساقط وليس شدته، وبالتالى عند زيادة تردد الضوء الساقط مع ثبات شدته تزداد طاقة الحركة العظمى للإلكترونات المنبعثة أما معدل انبعاث الإلكترونات يظل ثابتًا لأن معدل سقوط فوتونات الضوء ثابت.

4. انبعاث الإلكترونات يحدث لحظيًا (فور سقوط الضوء على الفلز) ولا تكون هناك فترة انتظار لتجميع الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترونات حتى إذا كانت شدة الإضاءة ضعيفة بشرط أن يكون تردد الضوء الساقط يساوى أو أكبر من التردد الحرج.

- لم تتمكن النظرية الكلاسيكية من تفسير هذه المشاهدات العملية حيث إنه :

فى التصور الكلاسيكى	فى التجربة العملية
يعتمد انبعاث الإلكترونات على	
شدة الضوء الساقط	تردد الضوء الساقط
تعتمد طاقة الحركة العظمى للإلكترونات المنبعثة على	
شدة الضوء الساقط	نوع مادة السطح وتردد الضوء الساقط
إذا كانت شدة الإضاءة ضعيفة فإن انبعاث الإلكترونات	
يحتاج لفترة تعرض أطول للضوء	يحدث لحظيًا (فور سقوط الضوء) شرط أن يكون تردد الضوء الساقط مساويًا أو أكبر من التردد الحرج

تفسير أينشتين للظاهرة الكهروضوئية



- تمكن أينشتين عام ١٩٠٥م من تفسير المشاهدات العملية للظاهرة الكهروضوئية وفاز عام ١٩٢١م بجائزة نوبل فى الفيزياء عن هذا التفسير وقد اعتمد فى تفسيره على أن :

- الإشعاع يتكون من وحدات صغيرة من الطاقة تسمى كل منها كوانتم أو فوتون (فرض بلانك).

- أقل طاقة لازمة لتحرر إلكترون من سطح معدن تسمى دالة الشغل للسطح (E_w) وتتعين من العلاقة :

$$E_w = h\upsilon_c = \frac{hc}{\lambda_c}$$

حيث : (λ_c) الطول الموجى الحرج.

دالة الشغل لسطح (E_w)

الحد الأدنى من الطاقة اللازمة لتحرير إلكترون من سطح المعدن دون إكسابه طاقة حركة.

الطول الموجى الحرج (λ_c)

أكبر طول موجى للضوء الساقط على سطح معدن يكفى لتحرير إلكترونات منه دون إكسابها طاقة حركة.

- إذا كان تردد الفوتون الساقط :

أقل من التردد الحرج $(\upsilon < \upsilon_c)$	يساوى التردد الحرج $(\upsilon = \upsilon_c)$	أكبر من التردد الحرج $(\upsilon > \upsilon_c)$
	تكون طاقة الفوتون الساقط على سطح المعدن	
أقل من دالة شغل السطح $(E < E_W)$	مساوية لدالة شغل السطح $(E = E_W)$	أكبر من دالة شغل السطح $(E > E_W)$
	وبالتـالى	
لا يستطيع الفوتون تحرير أى إلكترون من إلكترونات السطح مهما زادت شدة الضوء الساقط أو فترة تسليطه على السطح	يستطيع الفوتون بالكاد تحرير إلكترون من سطح المعدن دون إكسابه طاقة حركة	يستطيع الفوتون تحرير إلكترون من سطح المعدن ويظهر فرق الطاقة على شكل طاقة حركة يكتسبها الإلكترون

* مما سبق يمكن تعريف الظاهرة الكهروضوئية كالتالى :

الظاهرة الكهروضوئية

ظاهرة انبعاث إلكترونات من سطح معدن عندما يسقط عليه ضـــوء ذو تردد يساوى أو أكبر من التردد الحرج لهذا المعدن.

العلاقة بين طاقة الحركة العظمى للإلكترونات المنبعثة من سطح الفلز وتردد الضوء الساقط

∵ طاقة الفوتون الساقط = دالة الشغل للسطح + طاقة الحركة العظمى للإلكترونات المنبعثة.

$$\therefore E = E_w + (KE)_{max}$$

$$\therefore h\upsilon = h\upsilon_c + \frac{1}{2} m_e v^2$$

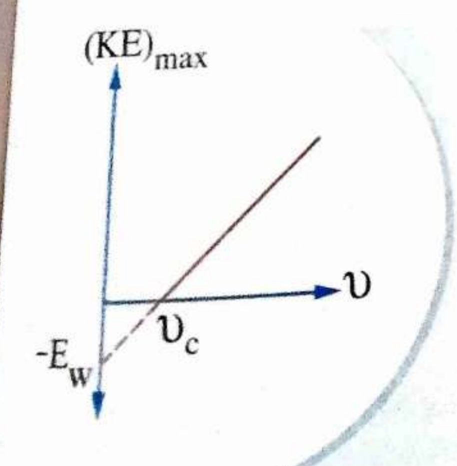
(معادلة أينشتين للظاهرة الكهروضوئية)

$$\frac{hc}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda_c} + \frac{1}{2} m_e v^2$$

* التمثيل البيانى للعلاقة بين طاقة الحركة العظمى $(KE)_{max}$ للإلكترونات المتحررة وتردد الضوء الساقط (υ) :

$$(KE)_{max} = h\upsilon - E_w$$
$$= h\upsilon - h\upsilon_c$$

$$slope = \frac{\Delta(KE)_{max}}{\Delta\upsilon} = h$$



العلاقة بين شدة التيار الكهروضوئى وشدة الضوء

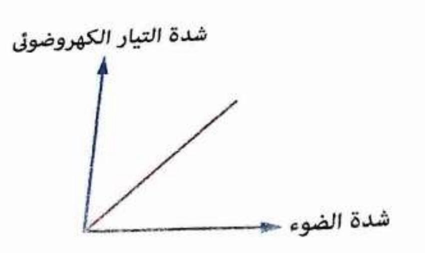
* إذا كان تردد الفوتون (الضوء) الساقط أقل من التردد الحرج للسطح لا يمر تيار كهروضوئى مهما زادت شدة الضوء أو زمن تعرض السطح للضوء.

$\upsilon < \upsilon_c$



* إذا كان تردد الفوتون (الضوء) الساقط أكبر من التردد الحرج للسطح تزداد شدة التيار الكهروضوئى بزيادة شدة الضوء الساقط (زيادة معدل سقوط الفوتونات) على السطح مما يؤدى إلى زيادة معدل انبعاث الإلكترونات الحرة حيث يحرر كل فوتون إلكترون واحد.

$\upsilon > \upsilon_c$



ملاحظات

* تتوقف دالة الشغل لسطح معدن على نوع مادة السطح فقط ولا تتوقف على شدة الضوء الساقط أو زمن التعرض له أو فرق الجهد بين المصعد والمهبط.

* الإلكترون الأكثر ارتباطًا بالنواة يحتاج إلى طاقة أكبر من دالة الشغل لتحرره بعكس إلكترون السطح الذى يحتاج طاقة تساوى دالة الشغل ليتحرر، لذا تنبعث الإلكترونات من الفلز بطاقات حركة مختلفة.

مثال ١

احسب دالة الشغل لفلز الطول الموجى الحرج له $2700\ \mathring{A}$

(علمًا بأن : $h = 6.625 \times 10^{-34}\ J.s$ ، $c = 3 \times 10^8\ m/s$)

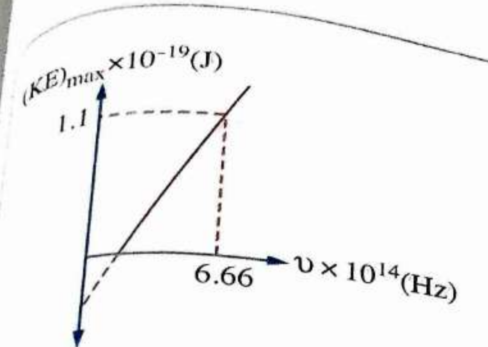
الحل

$E_w = ?$ | $h = 6.625 \times 10^{-34}\ J.s$ | $c = 3 \times 10^8\ m/s$ | $\lambda_c = 2700\ \mathring{A}$

$$E_w = \frac{hc}{\lambda_c} = \frac{6.625 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{2700 \times 10^{-10}} = 7.36 \times 10^{-19}\ J$$

مثال ٢

الشكل البيانى المقابل يوضح العلاقة بين طاقة الحركة العظمى $(KE)_{max}$ للإلكترونات المنبعثة من سطح معدن عند سقوط ضوء عليه وتردد هذا الضوء (υ)، **احسب :**



(أ) دالة الشغل لسطح المعدن.

(ب) التردد الحرج لسطح المعدن.

(علمًا بأن : $h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s)

الحل

$\upsilon = 6.66 \times 10^{14}$ Hz | $(KE_{max})_1 = 1.1 \times 10^{-19}$ J | $h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s | $E_w = ?$ | $\upsilon_c = ?$

(أ)

$$E_w = h\upsilon - (KE_{max})_1$$

$$= (6.625 \times 10^{-34} \times 6.66 \times 10^{14}) - (1.1 \times 10^{-19})$$

$$= \mathbf{3.31 \times 10^{-19}\ J}$$

(ب)

$$E_w = h\upsilon_c$$

$$\upsilon_c = \frac{E_w}{h} = \frac{3.31 \times 10^{-19}}{6.625 \times 10^{-34}} = \mathbf{5 \times 10^{14}\ Hz}$$

مثال ٣

سقط إشعاع كهرومغناطيسى طوله الموجى 1000 Å على سطح فلز فكانت أقصى طاقة حركة للإلكترونات المنبعثة 10.32 eV، ثم سقط على سطح الفلز إشعاع كهرومغناطيسى آخر طوله الموجى 3000 Å فكانت أقصى طاقة حركة للإلكترونات المنبعثة 2.04 eV، **احسب :**

(أ) قيمة ثابت بلانك (h).

(ب) دالة الشغل لسطح الفلز.

(علمًا بأن : $c = 3 \times 10^{8}$ m/s ، $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C)

$\lambda_1 = 1000 \text{ Å}$ | $(KE_{max})_1 = 10.32 \text{ eV}$ | $\lambda_2 = 3000 \text{ Å}$ | $(KE_{max})_2 = 2.04 \text{ eV}$

$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ | $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ | $h = ?$ | $E_w = ?$

(أ)

$$E_w = \frac{hc}{\lambda} - (KE)_{max}$$

$$\therefore \frac{hc}{\lambda_1} - (KE_{max})_1 = \frac{hc}{\lambda_2} - (KE_{max})_2$$

$$hc\left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}\right) = (KE_{max})_1 - (KE_{max})_2$$

$$h \times 3 \times 10^8 \times \left(\frac{1}{1000 \times 10^{-10}} - \frac{1}{3000 \times 10^{-10}}\right) = (10.32 - 2.04) \times 1.6 \times 10^{-19}$$

$$2 \times 10^{15}\, h = 1.325 \times 10^{-18}$$

$$h = 6.625 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

(ب)

$$E_w = \frac{hc}{\lambda_1} - (KE_{max})_1$$

$$= \frac{6.625 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{1000 \times 10^{-10}} - (10.32 \times 1.6 \times 10^{-19})$$

$$= 3.363 \times 10^{-19} \text{ J}$$

مجاب عنها

48 اختبـر نفسـك

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

سـقط ضوء طوله الموجى 400 nm على سـطح كاثود خلية كهروضوئية فانبعثت منه إلكترونات كهروضوئية مكتسـبة طاقة حركة عظمى قدرها 0.8525 eV ، فإذا سـقط ضوء آخر طوله الموجى 410 nm على سطح نفس الكاثود فإنه ....

(علمًا بأن : $h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s ، $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C ، $c = 3 \times 10^8$ m/s)

(أ) لا تتحرر إلكترونات كهروضوئية

(ب) تتحرر إلكترونات كهروضوئية طاقة الحركة العظمى لها أقل من 0.8525 eV

(ج) تتحرر إلكترونات كهروضوئية طاقة الحركة العظمى لها أكبر من 0.8525 eV

(د) تتحرر إلكترونات كهروضوئية طاقة الحركة العظمى لها 0.8525 eV



فى هذا الدرس سوف نتعرف :

- ظاهرة كومتون.
- الطبيعة المزدوجة للفوتونات.
- الطبيعة الموجية للجسيم.
- المجهر [الميكروسكوب] الإلكترونى.

ثالثًا ظاهرة كومتون Compton Effect

* عند سقوط فوتون له طاقة عالية (مثل فوتون أشعة إكس أو جاما) على إلكترون حر :
- يقل تردد الفوتون ويغير اتجاهه.
- تزداد سرعة الإلكترون ويغير اتجاهه.

وتسمى هذه الظاهرة **بظاهرة كومتون.**

* لم تتمكن النظرية الكلاسيكية من تفسير ظاهرة كومتون ولكن تم تفسيرها من خلال فرض بلانك بأن الإشعاع الكهرومغناطيسي مكون من فوتونات يمكن أن تصطدم بالإلكترونات وأثبت كومتون أنه يمكن تطبيق :
- **قانون بقاء كمية التحرك على الفوتون والإلكترون.**
- **قانون بقاء الطاقة** : حيث مجموع طاقتي الفوتون والإلكترون قبل التصادم مباشرةً = مجموع طاقتي الفوتون والإلكترون بعد التصادم مباشرةً.

أى أن الإلكترون يكتسب جزء من طاقة الفوتون الساقط فتزداد سرعة الإلكترون ويتشتت ويقل تردد الفوتون نتيجة نقص طاقته.

* **مما سبق نجد أن** ظاهرة كومتون تثبت الخاصية الجسيمية للضوء،

لأنها توضح أن الفوتون يتصادم مع الإلكترون كجسيم له سرعة وكمية حركة مثل الإلكترون.

ملاحظة

* **يرتبط تحول الكتلة (m) إلى طاقة (E) بعلاقة أينشتين ($E = mc^2$) وتسمى قانون بقاء الكتلة والطاقة والتى تعتبر أساس عمل القنبلة الذرية، حيث وجد أن انشطار النواة ينتج كمية هائلة من الطاقة،**

لأن انشطار النواة يصحبه نقص فى الكتلة يتحول إلى طاقة تبعًا لعلاقة أينشتين، وقد وجد أن النقص فى الكتلة صغير جدًا ولكنه يتحول إلى طاقة هائلة لأنه مضروب فى مقدار كبير جدًا هو مربع سرعة الضوء ($c^2 = 9 \times 10^{16}\ m^2/s^2$).



القنبلة الذرية

49 اختبـر نفسك

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

فى ظاهرة كومتون بعد التصادم لا يحدث نقص فى ....

(أ) كمية حركة الفوتون
(ب) طاقة الفوتون
(ج) تردد الفوتون
(د) سرعة الفوتون

خواص الفوتون

١ كَمّ من الطاقة مركز فى حيز صغير جدًا وتحسب طاقته من العلاقة :

$$E = h\upsilon = \frac{hc}{\lambda}$$

٢ سرعته فى الفراغ 3×10^8 m/s

٣ له كتلة أثناء حركته تكافئ m :

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{h\upsilon}{c^2} = \frac{h}{\lambda c}$$

٤ الفوتـون ليـس له كتلة سـكون بـل تتحول كتلته بالكامل إلى طاقة $(E = mc^2)$ يكتسـبها الجسـم الذى أوقف حركته.

٥ له كمية حركة :

$$P_L = mc = \frac{E}{c} = \frac{h\upsilon}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

٦ له خاصية جسيمية وخاصية موجية.

مثال

احسب الكتلة المكافئة للفوتون وكمية حركته إذا كان طوله الموجى 380 nm

(علمًا بأن : $h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s ، $c = 3 \times 10^8$ m/s)

الحـل

$c = 3 \times 10^8$ m/s | $h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s | $\lambda = 380 \times 10^{-9}$ m

$P_L = ?$ | $m = ?$

$$\upsilon = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{380 \times 10^{-9}} = 7.89 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{h\upsilon}{c^2} = \frac{6.625 \times 10^{-34} \times 7.89 \times 10^{14}}{(3 \times 10^8)^2} = \mathbf{5.81 \times 10^{-36}\ kg}$$

$$P_L = \frac{h}{\lambda} = \frac{6.625 \times 10^{-34}}{380 \times 10^{-9}} = \mathbf{1.74 \times 10^{-27}\ kg.m/s}$$



العلاقة بين الطول الموجى للفوتون وكمية الحركة الخطية له

$$\lambda = \frac{c}{\upsilon}$$

بضرب البسط والمقام فى ثابت بلانك (h) :

$$\therefore \lambda = \frac{hc}{h\upsilon} = \frac{h}{h\upsilon/c}$$

$$\because P_L = \frac{h\upsilon}{c}$$

$$\therefore \lambda = \frac{h}{P_L}$$

أى أن الطول الموجى للفوتون يساوى النسبة بين ثابت بلانك وكمية حركة الفوتون.

50 اختبر نفسك

مجاب عنها

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

كلما زاد طول موجة الفوتونات فإن كمية حركتها ....

(أ) تزداد
(ب) تقل
(جـ) تظل ثابتة
(د) تنعدم

الطبيعة المزدوجة للفوتونات

* ظاهرة إشعاع الجسم الأسود والظاهرة الكهروضوئية وظاهرة كومتون من الدلائل على أن الضوء يسلك سلوك الجسيمات، كما أن هناك ظواهر أخرى مثل التداخل والحيود تبين أن الضوء يسلك سلوك الموجات،

فأى منهما الصحيح : السلوك الجسيمى أم السلوك الموجى ؟

* يعتمد سلوك الضوء على الظاهرة قيد الدراسة حيث إن بعض التجارب يمكن تفسيرها عند سلوك الضوء سلوك الموجات أى أن الضوء يُظهر صفة موجية، وبعض التجارب يمكن تفسيرها عند سلوك الضوء سلوك الجسيمات أى أن الضوء يُظهر صفة جسيمية،

وعلى هذا الأساس فإن النظرة الحديثة لطبيعة الضوء تأخذ السلوك الثنائى أو المزدوج للضوء،

أى أن طاقة الإشعاع تنتقل على هيئة فوتونات يصحب حركتها موجة.

النموذج الماكروسكوبى والنموذج الميكروسكوبى للضوء

• إذا سقطت فوتونات على سطح ما وكان الطول الموجى للفوتونات (λ) :

أكبر بكثير من المسافات البينية	مقارب للمسافات البينية
فإن	
الفوتونات تتعامل هذا السطح كسطح متصل وتنعكس عنه	الفوتونات تنفذ من خلال المسافات البينية، وهذا ما يحدث فى حالة أشعة X
أى أن للضوء طبيعة	
موجية	جسيمية
وبالتالى يتم تفسير سلوك الضوء بواسطة	
النموذج الموجى للضوء (الماكروسكوبى)	النموذج الجسيمى للضوء (الميكروسكوبى)

أى أن النموذجين الماكروسكوبى والميكروسكوبى مرتبطان ببعضهما البعض، وبالتالى فإن الخاصية الموجية والخاصية الجسيمية للفوتونات متلازمتان، المهم أن نفهم كيف نطبق كل منهما فى مكانه.

• من هنا يمكن التفريق بين النموذج الماكروسكوبى والنموذج الميكروسكوبى للضوء كالتالى :

النموذج الموجى للضوء (الماكروسكوبى)	النموذج الجسيمى للضوء (الميكروسكوبى)
– يُطبق إذا اعترض فوتونات الضوء عائق أبعاده أكبر بكثير من الطول الموجى للضوء.	– يُطبق إذا اعترض فوتونات الضوء عائق فى حجم الذرة أو الإلكترون.
– يحدث فى ظواهر الانعكاس والانكسار والتداخل والحيود.	– يحدث فى ظواهر إشعاع الجسم الأسود والانبعاث الكهروضوئى وظاهرة كومتون.
– يدرس الفوتونات كحزمة بما لها من مجال مغناطيسى وكهربى متعامدان على بعضهما وعلى اتجاه سريان حزمة الفوتونات.	– يدرس الفوتون منفردًا ويتصوره كرة تصف قطرها يساوى الطول الموجى للموجة (λ) وتتذبذب بمعدل (υ).
– تمثل شدة الموجة بسعتها حيث تتناسب تناسبًا طرديًا مع مربع السعة.	– تمثل شدة الموجة المصاحبة للفوتونات تركيز هذه الفوتونات.

استنتاج القوة التى تؤثر بها حزمة من الفوتونات على سطح عاكس

* عند سقوط شعاع ضوئى تردده υ على سطح ما ثم انعكاسه فإن :

- كمية حركة الفوتون الساقط = mc
- كمية حركة الفوتون المنعكس = $-mc$
- مقدار التغير فى كمية حركة الفوتون نتيجة انعكاسه : $\Delta P_L = 2\,mc = \frac{2\,h\upsilon}{c}$

* بفرض أن (ϕ_L) معدل انعكاس الفوتونات عن السطح ويتعين من العلاقة $\left(\phi_L = \frac{N}{t}\right)$ وتقاس بوحدة photon/s.

فإن كل فوتون يسقط على السطح وينعكس عنه يعانى تغير فى كمية الحركة فيكون معدل التغير فى كمية حركة شعاع الفوتونات :

$$\frac{\Delta P_L}{\Delta t} = 2\,mc\phi_L = 2\,\frac{h\upsilon}{c}\,\phi_L$$

وتبعًا لقانون نيوتن الثانى تكون القوة التى يؤثر بها شعاع الفوتونات على السطح (F) مساوية لمعدل التغير فى كمية حركة شعاع الفوتونات :

$$F = \frac{\Delta P_L}{\Delta t} = 2\,\frac{h\upsilon}{c}\,\phi_L$$

* تتعين القدرة الضوئية (P_w) لحزمة الضوء الساقطة على السطح من العلاقة :

$$P_w = \frac{E_{(الكلية)}}{\Delta t} = \frac{h\upsilon N}{\Delta t} = h\upsilon\phi_L \qquad \therefore\ \mathbf{F = 2\,\frac{P_w}{c}}$$

مثال

شعاع قدرته 1 W يسقط على سطح حائط بمعدل 10^{14} photon/s، احسب القوة التى يؤثر بها الشعاع على سطح الحائط عند انعكاسه عنه، **ثم احسب** تردد الشعاع.

(علمًا بأن : $c = 3 \times 10^8$ m/s ، $h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s)

الحل

$P_w = 1$ W | $\phi_L = 10^{14}$ photon/s | $h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s

$c = 3 \times 10^8$ m/s | $F = ?$ | $\upsilon = ?$

$$F = \frac{2\,P_w}{c} = \frac{2 \times 1}{3 \times 10^8} = \mathbf{0.67 \times 10^{-8}\ N}$$

* هذه القوة صغيرة جدًا فلا يظهر تأثيرها على سطح الحائط.

$$\upsilon = \frac{P_w}{h\phi_L} = \frac{1}{6.625 \times 10^{-34} \times 10^{14}} = \mathbf{1.51 \times 10^{19}\ Hz}$$

51 اختبـر نفسـك

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

جهاز يصدر عنه إشعاع قدرته 200 W وطوله الموجى 3500 Å فيكون معدل انبعاث الفوتونات منه هو .... (علمًا بأن : $c = 3 \times 10^8$ m/s ، $h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s)

(أ) 3×10^{23} photon/s
(ب) 3.5×10^{20} photon/s
(ج) 2.5×10^{20} photon/s
(د) 5×10^{23} photon/s

الطبيعة الموجية للجسيم

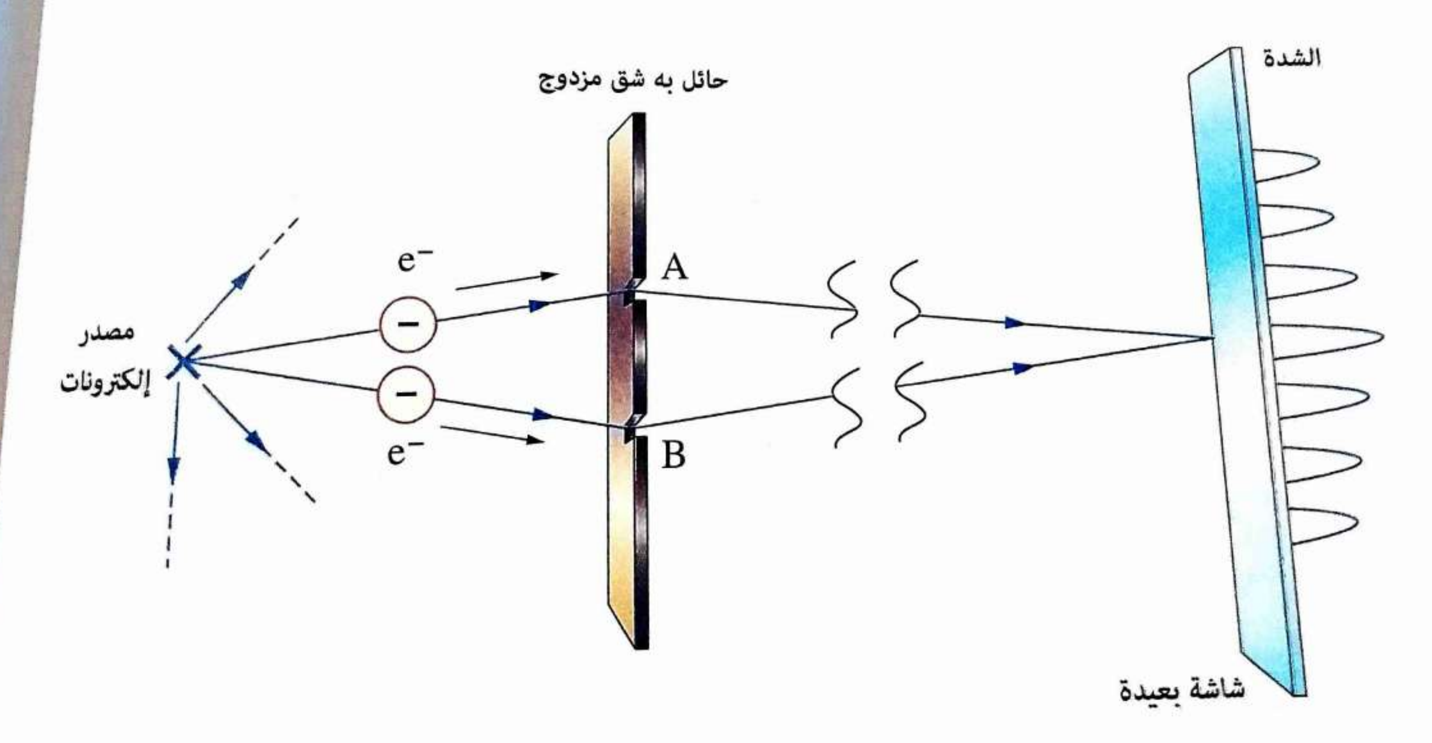
* نظرًا للتماثل الموجود فى الكون افترض دى برولى أنه مثلما للموجات طبيعة جسيمية، فإن للجسيم طبيعة موجية، حيث يصاحب الجسيم أثناء حركته موجة طولها الموجى يحسب من العلاقة :

$$\lambda = \frac{h}{P_L} = \frac{h}{mv}$$

معادلة دى برولى للجسيمات

الطول الموجى لموجة مصاحبة لجسيم متحرك يساوى النسبة بين ثابت بلانك وكمية حركة الجسيم.

* **والشكل التالى يوضح الطبيعة الموجية للإلكترون (خاصيتى الحيود والتداخل) :**

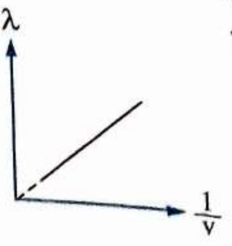


حيود وتداخل الإلكترونات فى شق مزدوج

العوامل التى يتوقف عليها الطول الموجى للموجة المصاحبة لجسيم متحرك

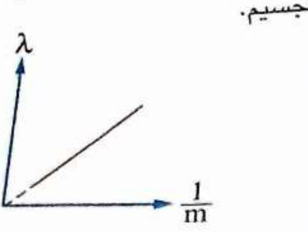
$$\lambda = \frac{h}{P_L} = \frac{h}{mv}$$

١ سرعة الجسيم :
يتناسب الطول الموجى للموجة المصاحبة لجسيم متحرك تناسبًا عكسيًا مع سرعة الجسيم.



$$slope = \frac{\Delta\lambda}{\Delta\left(\frac{1}{v}\right)} = \frac{h}{m}$$

٢ كتلة الجسيم :
يتناسب الطول الموجى للموجة المصاحبة لجسيم متحرك تناسبًا عكسيًا مع كتلة الجسيم.



$$slope = \frac{\Delta\lambda}{\Delta\left(\frac{1}{m}\right)} = \frac{h}{v}$$

* العلاقة البيانية بين الطول الموجى للموجة المصاحبة لجسيم متحرك ومقلوب كمية تحرك الجسيم :

$$slope = \frac{\Delta\lambda}{\Delta\left(\frac{1}{P_L}\right)} = h$$

* وبالتالى فإننا ننظر إلى الطبيعة الموجية لكل من الضوء والإلكترونات كما يلى :

الطبيعة الموجية للضوء	الطبيعة الموجية للإلكترونات
- الضوء هو مجموعة هائلة من الفوتونات لها موجة مصاحبة تصف سلوكها الجماعى.	- شعاع الإلكترونات هو مجموعة هائلة من الإلكترونات لها موجة مصاحبة تصف سلوكها الجماعى.
- الفوتون بمفرده يحمل الصفات الوراثية للموجة (نفس خصائص مجموعة الفوتونات) من حيث التردد والسرعة والطول الموجى.	- الإلكترون بمفرده يحمل الصفات الوراثية للكل (نفس خصائص مجموعة الإلكترونات) من حيث الكتلة والشحنة والدوران حول نفسه (اللف المغزلى) وكمية الحركة.
- يكون للموجة المصاحبة لحركة الفوتونات تردد وسرعة وطول موجى وخصائص الانتشار والانعكاس والانكسار والتداخل والحيود.	- يكون للموجة المصاحبة لحركة الإلكترونات تردد وسرعة وطول موجى وخصائص الانتشار والانعكاس والانكسار والتداخل والحيود.

* مما سبق يمكن المقارنة بين الإلكترون والفوتون كالتالى :

	الإلكترون	الفوتون
الطبيعة	جسيم مادى شحنته سالبة وله طبيعة موجية	كمّ من الطاقة ($h\upsilon$) غير مشحون وله طبيعة موجية وجسيمية
التعجيل (زيادة سرعته)	يمكن تعجيله بالمجال الكهربى	لا يمكن تعجيله وسرعته ثابتة فى الفراغ (3×10^8 m/s)
كمية التحرك	له كمية تحرك $P_L = \frac{h}{\lambda} = m_e v$	له كمية تحرك $P_L = mc = \frac{E}{c} = \frac{h\upsilon}{c} = \frac{h}{\lambda}$
الكتلة	* له كتلة سكون ثابتة ($m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg)	* له كتلة أثناء حركته فقط تكافئ m ($m = \frac{E}{c^2} = \frac{h\upsilon}{c^2} = \frac{h}{\lambda c}$) * إذا توقف عن الحركة تتلاشى كتلته وتتحول إلى طاقة ($E = mc^2$).

مثال

احسب الطول الموجى للموجة المصاحبة لحركة كرة كتلتها 140 kg تتحرك بسرعة 40 m/s،

ثم احسب الطول الموجى للموجة المصاحبة لحركة إلكترون إذا تخيلنا أن الإلكترون يتحرك بنفس السرعة.

(علمًا بأن : $h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s ، $m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg)

الحل

$m_b = 140$ kg | $v = 40$ m/s | $m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg | $h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s

$\lambda_b = ?$ | $\lambda_e = ?$

$$\lambda_b = \frac{h}{m_b v} = \frac{6.625 \times 10^{-34}}{140 \times 40} = \mathbf{1.18 \times 10^{-37}\ m}$$

$$\lambda_e = \frac{h}{m_e v} = \frac{6.625 \times 10^{-34}}{9.1 \times 10^{-31} \times 40} = \mathbf{1.82 \times 10^{-5}\ m}$$

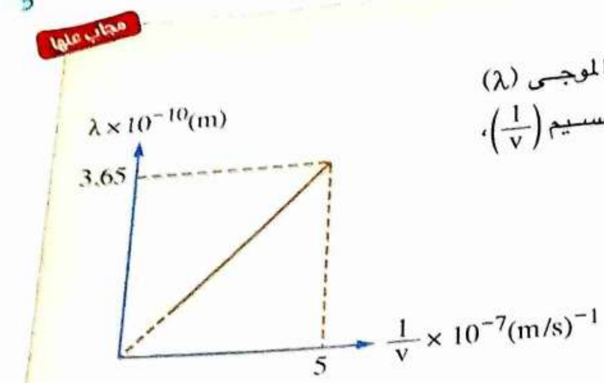
52 اختبر نفسك

مجاب عنها

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

الشكل المقابل يمثل العلاقة البيانية بين الطول الموجى (λ) للموجة المصاحبة لحركة جسيم ومقلوب سرعة الجسيم ($\frac{1}{v}$)، فإن كتلة الجسيم تساوى ....

(علمًا بأن : $h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s)



(أ) 9.1×10^{-31} kg

(ب) 7.8×10^{-25} kg

(ج) 2.4×10^{-24} kg

(د) 1.6×10^{-22} kg

* **مما سبق يتضح أنه يمكن استخدام شعاع من الإلكترونات كما يستخدم شعاع الضوء، وهذا هو أساس عمل الميكروسكوب الإلكترونى.**

المجهر (الميكروسكوب) الإلكترونى

* لتكوين صورة مكبرة للأجسام الصغيرة **يلزم** سقوط موجة على الجسم بحيث يكون طولها الموجى أقل من أبعاد الجسم المراد تكوين صورة مكبرة له لذلك لا يصلح الميكروسكوب الضوئى لرؤية الأجسام الصغيرة جدًا مثل الڤيروسات حيث إن الطول الموجى للضوء المرئى أكبر من أبعاد الڤيروس لذلك يتم استخدام شعاع من الإلكترونات فى الميكروسكوب الإلكترونى.



صورة للڤيروسات باستخدام الميكروسكوب الإلكترونى

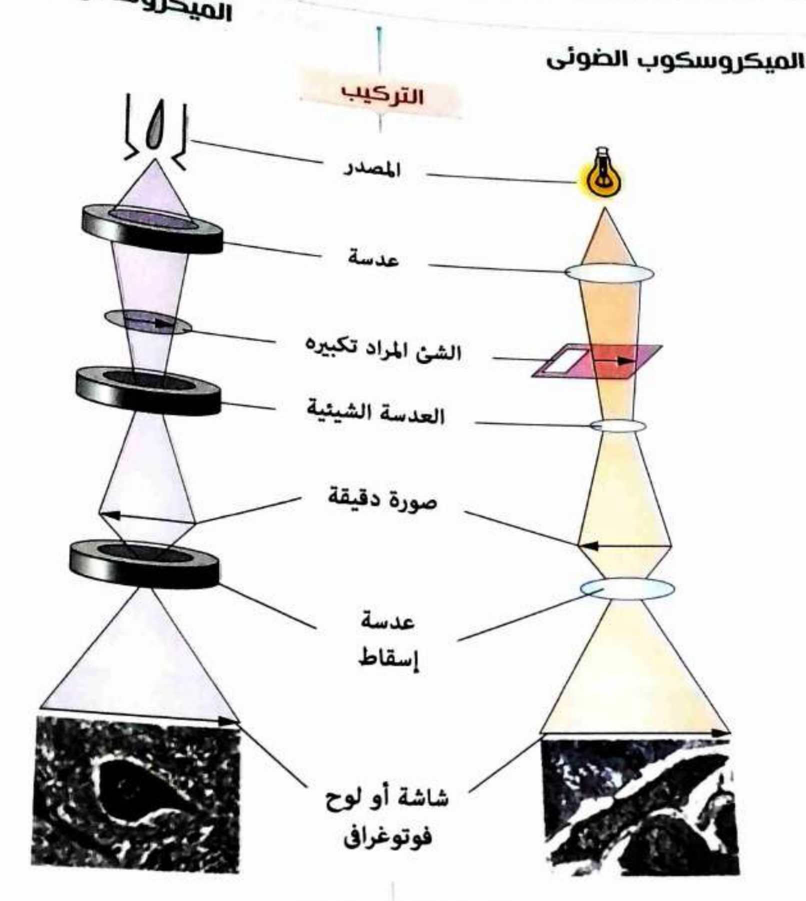
* **فكرة عمل الميكروسكوب الإلكترونى :**

- **الفكرة :** الطبيعة الموجية للإلكترون.

- **الشرح :** بزيادة فرق الجهد بين الكاثود والآنود فى المجهر الإلكترونى تزداد طاقة حركة الإلكترون وبالتالى تزداد سرعته (v) تبعًا للعلاقة ($KE = \frac{1}{2} m_e v^2 = eV$)، ومن معادلة دى برولى ($\lambda = \frac{h}{m_e v}$) نجد أنه بزيادة سرعة الإلكترون يقل الطول الموجى المصاحب لحركته حتى يصبح أقل من أبعاد الجسم وبذلك يمكن تكوين صورة مكبرة له.

* يتشابه الميكروسكوب الإلكترونى مع الميكروسكوب الضوئى فى نواح عديدة ويختلف عنه فى نواح أخرى، كالتالى:

الميكروسكوب الضوئى		الميكروسكوب الإلكترونى
	التركيب	



الميكروسكوب الضوئى		الميكروسكوب الإلكترونى
شعاع ضوئى	**الشعاع المستخدم**	شعاع من الإلكترونات يصحب حركتها أمواج مادية طولها الموجى أقصر حوالى ألف مرة من الطول الموجى للشعاع الضوئى
عدسات ضوئية (زجاجية) تعمل على تركيز الضوء على الجسم المراد تكبيره	**العدسات المستخدمة**	عدسات إلكترونية (مغناطيسية) تعمل على تركيز شعاع الإلكترونات على الجسم المراد تكبيره
صغيرة نسبيًا وبذلك لا يستطيع أن يميز التفاصيل الدقيقة	**القدرة التحليلية**	كبيرة نسبيًا وبذلك يكون له القدرة على تمييز التفاصيل الدقيقة
محدود نسبيًا	**معامل التكبير**	كبير نسبيًا
تقديرية، يمكن أن تُرى بالعين المجردة	**الصورة النهائية**	تتكون على شاشة فلورسية

ملاحظة

- القدرة التحليلية للميكروسكوب الإلكترونى كبيرة جدًا،

لأن الإلكترونات يمكن أن تمتلك طاقة حركة عالية جدًا ومن ثم تصحبها أطوال موجية قصيرة جدًا وبالتالى تستطيع أن ترصد أجسام صغيرة لا يستطيع الضوء العادى أن يرصدها.

مثال

إذا استخدم فرق جهد 400 V بين الأنود والكاثود لميكروسكوب إلكترونى،

(أ) **احسب**: ١- أقصى طاقة حركة للإلكترون. ٢- أقصى سرعة للإلكترون.

٣- الطول الموجى للموجة المصاحبة لحركة الإلكترون.

(ب) **هل** يمكن رؤية جسيم طوله 5 Å ؟ **ولماذا ؟**

(علمًا بأن: $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C ، $h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s ، $m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg)

الحل

$h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s	$m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg	$V = 400$ V

$\lambda = ?$	$v = ?$	$(KE)_{max} = ?$	$e = 1.6 \times 10^{-19}$ C

(أ) ١- $(KE)_{max} = eV = 1.6 \times 10^{-19} \times 400 = \mathbf{6.4 \times 10^{-17}\ J}$

٢- $(KE)_{max} = \frac{1}{2} m_e v^2$

$6.4 \times 10^{-17} = \frac{1}{2} \times 9.1 \times 10^{-31} \times v^2$, $\mathbf{v = 1.19 \times 10^7\ m/s}$

٣- $\lambda = \frac{h}{m_e v} = \frac{6.625 \times 10^{-34}}{9.1 \times 10^{-31} \times 1.19 \times 10^7} = \mathbf{6.12 \times 10^{-11}\ m = 0.612\ \mathring{A}}$

(ب) نعم، لأن الطول الموجى للموجة المصاحبة لحركة الإلكترون أقل من طول الجسيم.

53 اختبر نفسك

مجاب عنه

اختر: أى من الاختيارات التالية يعبر عما يحدث فى الميكروسكوب الإلكترونى عند زيادة فرق الجهد بين المصعد والمهبط ؟

	طاقة حركة الإلكترون	الطول الموجى المصاحب للإلكترون
(أ)	تزداد	يزداد
(ب)	تزداد	يقل
(ج)	تقل	يزداد
(د)	تقل	يقل

الوحدة الثانية

مقدمة

في الفيزياء الحديثة

الفصل 6

الأطياف الذرية



الأطياف الذرية



في هذا الفصل سوف نتعرف :

- نموذج ذرة بور.
- الأطياف.
- الأشعة السينية.

* كلمة ذرة (Atom) تعود إلى اللغة الإغريقية، وتعنى الوحدة التى لا تنقسم،
وقد وضع العلماء تصورات مختلفة متعاقبة لتركيب الذرة، سندرس منها تصور العالم بور لتركيب الذرة.

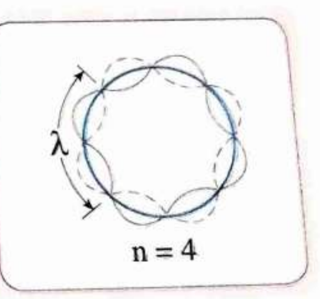
نموذج ذرة بور Bohr's Model

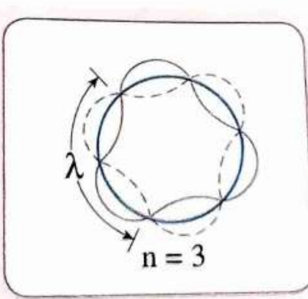
* قام بور بدراسة تصورات العلماء السابقين له للذرة، وتوصل إلى نموذج لذرة الهيدروچين مستخدمًا بعض تصورات العالم رذرفورد، وهى :

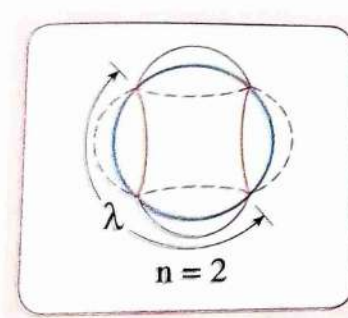
1. توجد عند مركز الذرة نواة موجبة الشحنة.
2. تدور الإلكترونات سالبة الشحنة حول النواة فى مستويات طاقة محددة تعرف بالأغلفة ولا يصدر الإلكترون إشعاعًا طالما كان متحركًا فى مستوى الطاقة الخاص به.
3. الذرة متعادلة كهربيًا حيث إن عدد الشحنات السالبة (الإلكترونات) حول النواة يساوى عدد الشحنات الموجبة التى تحملها النواة (البروتونات).

ثم أضاف بور الفروض الثلاثة الهامة التالية :

1. القوى الكهربية (قانون كولوم) والقوى الميكانيكية (قانون نيوتن) قابلة للتطبيق فى مجال الذرة.
2. باعتبار أن الموجة المصاحبة لحركة الإلكترون فى ذرة الهيدروچين تمثل موجة موقوفة (حسب فرض دى برولى) بحيث يكون عدد الموجات الموقوفة (الأطوال الموجية) مساويًا لرقم المستوى كما بالشكل التالى :







وبالتالى يمكن حساب نصف قطر مستوى الإلكترون تقديريًا من العلاقة :

$$2\pi r = n\lambda$$

حيث : (r) نصف قطر المستوى،

(n) عدد الأمواج الموقوفة المصاحبة لحركة الإلكترون (عدد صحيح أكبر من الصفر)،

(λ) الطول الموجى للموجة الموقوفة المصاحبة لحركة الإلكترون.

3. عندما ينتقل إلكترون من مستوى طاقة (E_2) إلى مستوى أدنى للطاقة (E_1)، ينطلق نتيجة لذلك فوتون طاقته تساوى الفرق بين طاقتى المستويين ($h\upsilon = \Delta E = E_2 - E_1$).

مثال

الشكل المقابل يوضح الموجة الموقوفة المصاحبة لحركة إلكترون ذرة الهيدروچين فى أحد مستويات الطاقة، فإذا علمت أن سرعة الإلكترون فى هذا المستوى 7.3×10^5 m/s،

احسب :

(أ) الطول الموجى للموجة الموقوفة المصاحبة لحركة الإلكترون فى هذا المستوى.

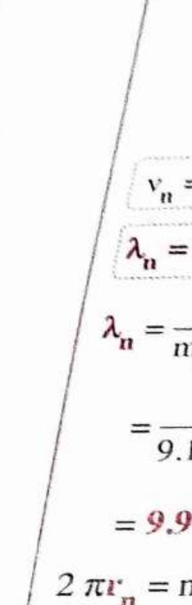
(ب) نصف قطر مستوى الطاقة الذى يتحرك فيه الإلكترون.

(علمًا بأن : $h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s، $m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg)

الحل

$m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg	$h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s	$n = 3$	$v_n = 7.3 \times 10^5$ m/s

$r_n = ?$ ، $\lambda_n = ?$



(أ)

$$\lambda_n = \frac{h}{m_e v_n}$$

$$= \frac{6.625 \times 10^{-34}}{9.1 \times 10^{-31} \times 7.3 \times 10^5}$$

$$= 9.97 \times 10^{-10}\ \text{m} = 9.97\ \text{Å}$$

(ب)

$$2\pi r_n = n\lambda_n$$

$$2 \times \frac{22}{7}\, r_n = 3 \times 9.97 \times 10^{-10}$$

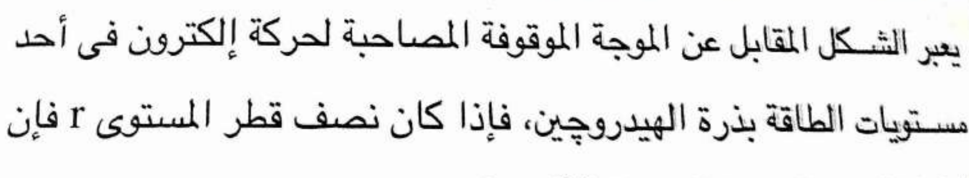
$$r_n = 4.76 \times 10^{-10}\ \text{m} = 4.76\ \text{Å}$$



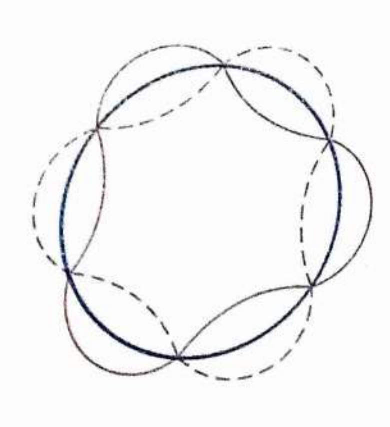
مجاب عنه

54 اختبر نفسك

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :



يعبر الشكل المقابل عن الموجة الموقوفة المصاحبة لحركة إلكترون فى أحد مستويات الطاقة بذرة الهيدروچين، فإذا كان نصف قطر المستوى r فإن الطول الموجى للموجة الموقوفة (λ) يساوى ....



(أ) $\frac{\pi r}{3}$

(ب) $\frac{2\pi r}{5}$

(جـ) $\frac{\pi r}{2}$

(د) $\frac{2\pi r}{3}$

الطيف الخطى لغاز الهيدروجين (انبعاث الطيف الكهرومغناطيسى من ذرة بور)

* عندما تكتسب ذرات الهيدروجين طاقة فإنها تثار، ويلاحظ التالى :

1. لا تثار الذرات كلها بنفس الكيفية (لنفس المستوى)، ولذلك تنتقل الإلكترونات فى الذرات المختلفة من المستوى الأول K $(n = 1)$ إلى مستويات مختلفة أعلى منه L، M، N، ... $(n = 2 \text{ or } 3 \text{ or } 4 \text{ ....})$.

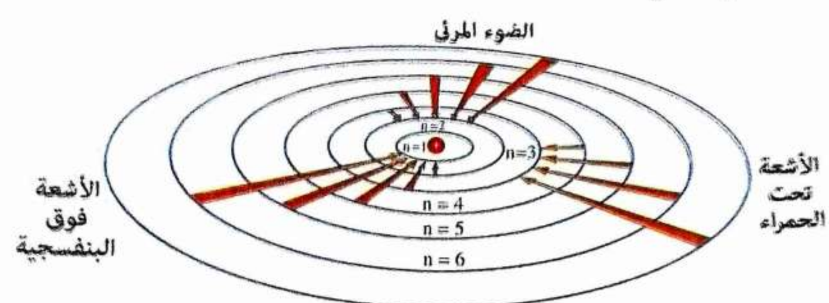
2. يمكن حساب طاقة أى مستوى (E_n) فى ذرة الهيدروجين من العلاقة :

$$E_n = -\frac{13.6}{n^2} \text{ (eV)}$$

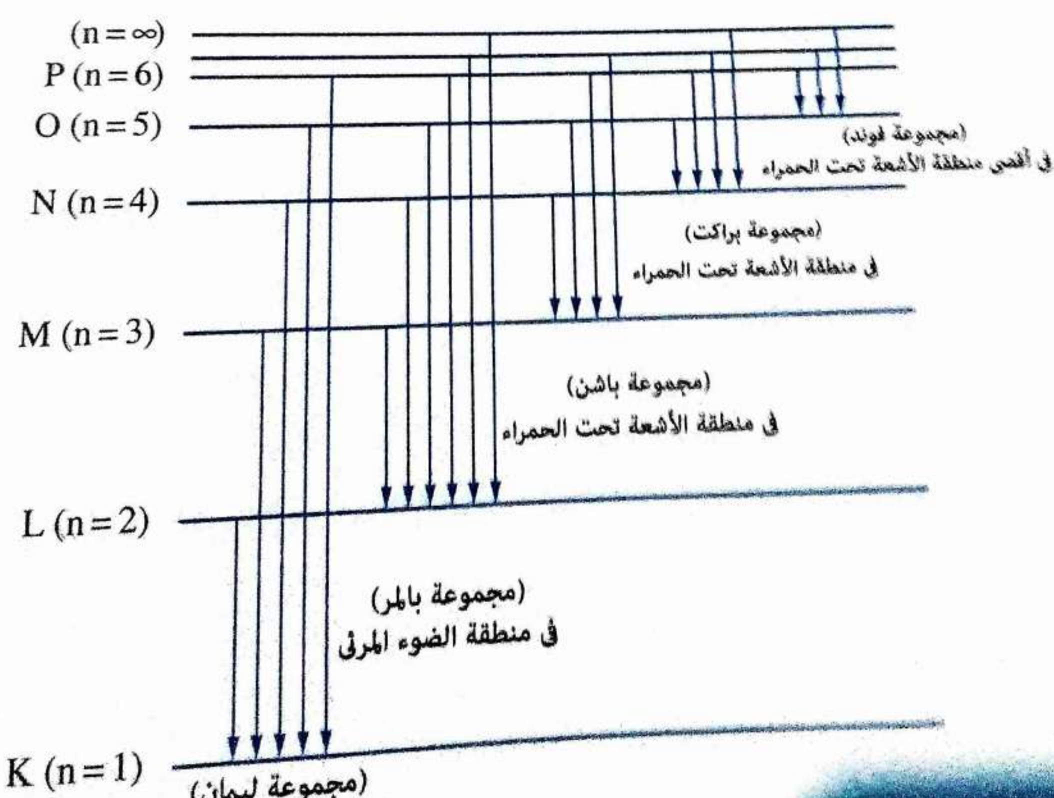
3. لا تبقى الإلكترونات فى مستويات الطاقة العالية إلا لفترة قصيرة جدًا (حوالى 10^{-8}s) ثم تهبط إلى مستويات أدنى.

4. عندما يهبط الإلكترون من مستوى طاقة أعلى إلى مستوى طاقة أدنى فإنه يفقد فرق الطاقة بين المستويين على شكل فوتون تردده υ وطاقته $h\upsilon$ وطوله الموجى λ

حيث : $h\upsilon = E_2 - E_1$ ، $\lambda = \frac{c}{\upsilon}$



5. عند إثارة عدد كبير من ذرات الهيدروجين ينشأ عن عودة الإلكترون داخل كل ذرة من المستويات العليا إلى المستويات الأدنى انبعاث طيف خطى يتكون من خمس مجموعات أو متسلسلات، وتترتب هذه المتسلسلات كالتالى :



١ متسلسلة ليمان	ينتقل الإلكترون من المستويات الأعلى إلى المستوى الأول $(n = 1)$ K	تقع فى منطقة الأشعة فوق البنفسجية	
٢ متسلسلة بالمر	ينتقل الإلكترون من المستويات الأعلى إلى المستوى الثانى $(n = 2)$ L	تقع فى منطقة الضوء المرئى	
٣ متسلسلة باشن	ينتقل الإلكترون من المستويات الأعلى إلى المستوى الثالث $(n = 3)$ M	تقع فى منطقة الأشعة تحت الحمراء	
٤ متسلسلة براكت	ينتقل الإلكترون من المستويات الأعلى إلى المستوى الرابع $(n = 4)$ N	تقع فى منطقة الأشعة تحت الحمراء	
٥ متسلسلة فوند	ينتقل الإلكترون من المستويات الأعلى إلى المستوى الخامس $(n = 5)$ O	تقع فى أقصى منطقة الأشعة تحت الحمراء	

* حساب طاقة الإشعاع فى المتسلسلة الواحدة :

ينبعث فوتون له أكبر طاقة (أقصر طول موجى)

عند انتقال الإلكترون من مستوى الطاقة فى مالانهاية (E_∞) إلى مستوى الطاقة الأدنى فى المتسلسلة (E_n) :

$$E_\infty - E_n = \frac{hc}{\lambda_{min}} \quad , \quad E_\infty = 0$$

ينبعث فوتون له أقل طاقة (أكبر طول موجى)

عند انتقال الإلكترون من مستوى الطاقة (E_{n+1}) إلى مستوى الطاقة الأدنى الذى يليه (E_n) :

$$E_{n+1} - E_n = \frac{hc}{\lambda_{max}}$$

ملاحظة

* بدءًا من متسلسلة ليمان يؤدى انتقال الإلكترون بين أى مستويين متتاليين فى نفس المتسلسلة الطيفية إلى انبعاث طيف (فوتون) له أقل تردد فى المتسلسلة ولكنه يظل أعلى من تردد أى فوتون فى أى متسلسلة تالية.

مثال ١

تبعًا لنموذج بور لطيف ذرة الهيدروچين، **احسب :**

(أ) فرق الطاقة بوحدة الچول عند انتقال الإلكترون من المستوى الخامس إلى المستوى الأول.

(ب) تردد الفوتون المنبعث عند انتقال الإلكترون من المستوى الرابع إلى المستوى الأول.

(جـ) الطول الموجى للفوتون المنبعث عند انتقال الإلكترون من المستوى الخامس إلى المستوى الثانى.

(علمًا بأن : $c = 3 \times 10^8$ m/s ، $h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s ، $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C)

الحـــل

(أ)

$E_n = -\frac{13.6}{n^2}$

$E_5 = -\frac{13.6}{(5)^2} = -0.544\ eV$

$E_1 = -13.6\ eV$

$\Delta E = E_5 - E_1 = -0.544 - (-13.6) = 13.056\ eV$

$\Delta E = 13.056 \times 1.6 \times 10^{-19} = \mathbf{2.09 \times 10^{-18}\ J}$

(ب)

$E_4 = -\frac{13.6}{(4)^2} = -0.85\ eV$

$\Delta E = E_4 - E_1 = -0.85 - (-13.6) = 12.75\ eV$

$\Delta E = 12.75 \times 1.6 \times 10^{-19} = 2.04 \times 10^{-18}\ J$

$\Delta E = h\upsilon$

$\upsilon = \frac{\Delta E}{h} = \frac{2.04 \times 10^{-18}}{6.625 \times 10^{-34}} = \mathbf{3.08 \times 10^{15}\ Hz}$

(جـ)

$E_2 = -\frac{13.6}{(2)^2} = -3.4\ eV$

$\Delta E = E_5 - E_2 = -0.544 - (-3.4) = 2.856\ eV$

$\Delta E = 2.856 \times 1.6 \times 10^{-19} = 4.57 \times 10^{-19}\ J$

$\Delta E = \frac{hc}{\lambda}$

$\lambda = \frac{hc}{\Delta E} = \frac{6.625 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{4.57 \times 10^{-19}} = \mathbf{4.35 \times 10^{-7}\ m}$

مثال ٢

إذا علمت أن طاقة المستوى الأول فى ذرة الهيدروجين $-13.6\ eV$ ، **احسب** أكبر وأقل طاقة للفوتون المنبعث عند عودة الإلكترون المثار للمستوى الأول. (علمًا بأن : $e = 1.6 \times 10^{-19}\ C$)

الحـــل

$E_1 = -13.6\ eV$ | $e = 1.6 \times 10^{-19}\ C$ | $\Delta E = ?$

* أكبر طاقة :

$\Delta E = E_\infty - E_1 = 0 - (-13.6 \times 1.6 \times 10^{-19}) = \mathbf{21.76 \times 10^{-19}\ J}$

* أقل طاقة :

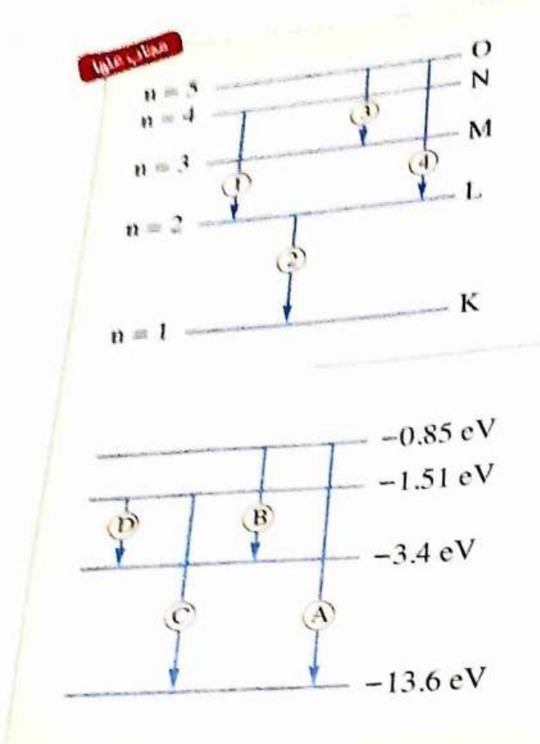
$\Delta E = E_2 - E_1$

$= \left(\frac{-13.6}{(2)^2} \times 1.6 \times 10^{-19}\right) - (-21.76 \times 10^{-19}) = \mathbf{16.32 \times 10^{-19}\ J}$



اختبر نفسك

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :



١ أى الانتقالات الموضحة للإلكترون فى الشكل تؤدى إلى انبعاث طيف خطى له أكبر تردد ؟

(أ) الانتقال (1)　　(ب) الانتقال (2)

(جـ) الانتقال (3)　　(د) الانتقال (4)

٢ الشكل المقابل يبين أربعة مستويات طاقة فى ذرة الهيدروجين، فإن الانتقال الذى ينتج عنه انبعاث فوتون طوله الموجى 974 Å هو ....

(علمًا بأن : $h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s ،

$e = 1.6 \times 10^{-19}$ C ، $c = 3 \times 10^{8}$ m/s)

(أ) A　　(ب) B

(جـ) C　　(د) D



الأطياف

* عند مرور الطيف الشمسى خلال منشور ثلاثى فإنه يتحلل إلى مكوناته من الأشعة المرئية (الضوء المرئى) والأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجية.
* تُعد دراسة وتفسير الطيف الذرى للعناصر من أهم الدراسات التى أدت إلى معرفة التركيب الذرى والجزيئى لها، ويتم ذلك باستخدام جهاز **المطياف**.

المطياف Spectrometer

الوظيفة

تحليل الضوء إلى مكوناته المرئية وغير المرئية والحصول منها على **طيف نقى**.

الطيف النقى

طيف لا يكون فيه تداخل بين الأطوال الموجية حيث يكون فيه التفريق بين الألوان شديد التمايز بحيث يكون الضوء عمليًا عند كل نقطة أحادى اللون تقريبًا.

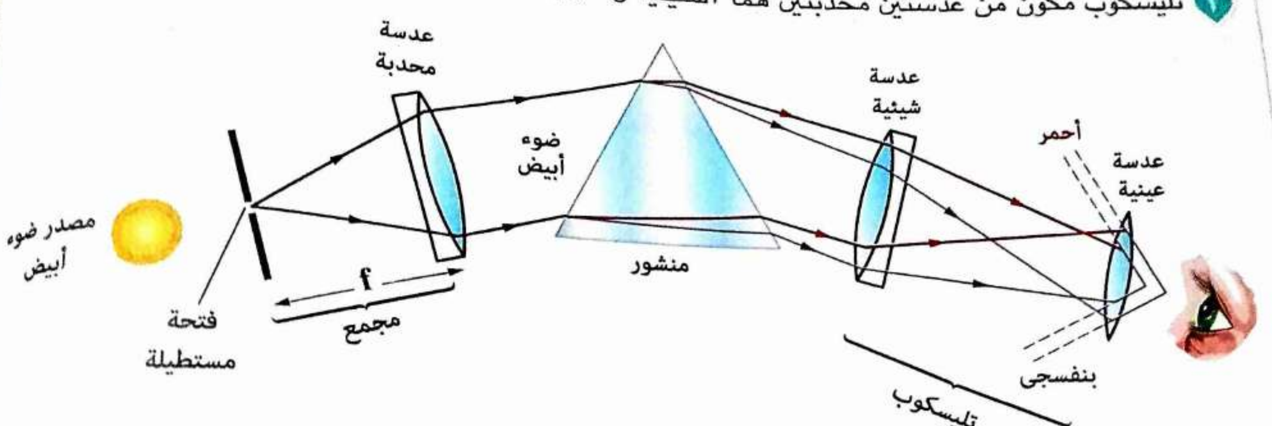
الاستخدام

١ التعرف على مصادر الطيف المختلفة.

٢ تقدير درجة حرارة النجوم وما بها من غازات.

التركيب

1. المجمع وهو عبارة عن أنبوبة يوجد عند طرفها فتحة مستطيلة ضيقة يمكن التحكم فى اتساعها بواسطة مسمار محوى وتوجد هذه الفتحة عند بؤرة عدسة محدبة عند الطرف الآخر للأنبوبة.
2. منشور ثلاثى من الزجاج موضوع على منضدة قابلة للدوران لضبط المنشور عند وضع النهاية الصغرى للانحراف.
3. تليسكوب مكون من عدستين محدبتين هما الشيئية والعينية.



طريقة العمل

1. يتم وضع مصدر الطيف أمام الفتحة المستطيلة للمجمع فتعمل عدسته المحدبة على خروج حزمة متوازية من الطيف الذى يسقط على أحد أوجه المنشور.
2. يتم ضبط المنشور فى وضع النهاية الصغرى للانحراف، ويعمل المنشور على تحليل أشعة الضوء إلى مكوناته الأولية بحيث تخرج أشعة كل لون متوازية مع بعضها وغير موازية لأشعة الألوان الأخرى لأن لكل لون من ألوان الطيف زاوية انحراف خاصة به.
3. يوجه التليسكوب لاستقبال الأشعة المارة خلال المنشور.
4. تعمل العدسة الشيئية للتليسكوب على تجميع أشعة كل لون فى بؤرة خاصة على المستوى البؤرى بحيث يمكن رؤيتها محددة بواسطة العدسة العينية أو تتكون صورة لها على لوح فوتوغرافى.

شروط الحصول على طيف نقى بواسطة المطياف (الأسبكترومتر)

أن يكون المنشور فى وضع النهاية الصغرى للانحراف وتجمع الأشعة المتوازية لكل لون فى بؤرة خاصة بواسطة العدسة الشيئية.

أنواع الأطياف

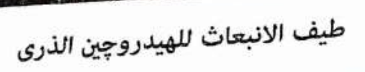
- بعد إتمام عملية التحليل الطيفى يمكن تمييز نوعين من الأطياف :

طيف مستمر (متصل)	طيف خطى
طيف يتضمن توزيعًا مستمرًا أو متصلًا للترددات أو الأطوال الموجية.	طيف يتضمن توزيعًا غير مستمرًا للترددات أو الأطوال الموجية.
يمكن الحصول عليه عن طريق	
تحليل الإشعاعات المنبعثة من الأجسام الساخنة كالفحم المتقد وفتيل المصباح الكهربى.	تحليل الإشعاع المنبعث من عنصر غازى أو بخار عنصر تحت ضغط منخفض فى أنابيب التفريغ الكهربى، ويعتبر خاصية مميزة للعنصر.

- ينقسم الطيف الخطى للعناصر إلى :

١ طيف الانبعاث

- هو الطيف الناتج عن انتقال ذرة مثارة من مستوى أعلى للطاقة إلى مستوى أدنى للطاقة ونظرًا لأنه لا يمكن إثارة العناصر إلا إذا كانت فى صورة ذرية وليست جزيئية، فإن الطيف الخطى لا يصدر من المادة إلا إذا كانت فى صورة ذرات منفصلة أو فى الحالة الغازية تحت ضغط منخفض.



طيف الانبعاث للهيدروچين الذرى

طيف الانبعاث للزئبق

- يظهر طيف الانبعاث على لوح فوتوغرافى حساس على هيئة **خطوط مضيئة على خلفية سوداء.**

٢ طيف الامتصاص

- إذا مر طيف مستمر (مثل ضوء أبيض) خلال غاز ما أو بخار عنصر، **فإنه يلاحظ** :

اختفاء بعض الأطوال الموجية فى الطيف المستمر للضوء الأبيض بعد تحليله بالمطياف، هذه الأطوال الموجية هى نفسها الأطوال الموجية لأطياف الانبعاث الخطية لهذا الغاز أو العنصر لذلك فهى تعتبر خاصية مميزة لهذا الغاز أو العنصر، ويطلق عليها **طيف الامتصاص الخطى.**

طيف الامتصاص الخطى

خطوط معتمة لبعض الأطوال الموجية فى الطيف المستمر، وهذه الخطوط ناتجة عن امتصاص غاز أو بخار عنصر لخطوط الطيف المميزة له.

* يظهر طيف الامتصاص على لوح فوتوغرافى حساس على هيئة خطوط معتمة على خلفية مضيئة.

* وقد أثبت هذا وجود عنصرى الهيليوم والهيدروچين فى الغلاف الشمسى، حيث إن طيف الشمس بعد تحليله وجد أنه يحتوى على أطياف الامتصاص الخطية للهيليوم والهيدروچين ويطلق عليها **خطوط فرونهوفر**.

خطوط فرونهوفر
أطياف امتصاص خطية للعناصر الموجودة فى الغلاف الشمسى وقد وجد أنها خاصة بعنصرى الهيليوم والهيدروچين.

56 اختبر نفسك

مجاب عنها

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

عند مرور ضوء أبيض خلال بخار الصوديوم وتحليل الضوء الخارج من بخار الصوديوم، فإننا نحصل على ....

(أ) خطوط ملونة منفصلة على خلفية معتمة

(ب) خطوط ملونة منفصلة على خلفية بيضاء

(جـ) خطوط معتمة منفصلة على خلفية ملونة

(د) منطقة ملونة متصلة

الأشعة السينية X-Rays

* اكتشف العالم رونتجن أشعة كهرومغناطيسية غير مرئية طولها الموجى قصير يتراوح بين 10^{-13} m و 10^{-8} m أى بين الأطوال الموجية لأشعة جاما والأشعة فوق البنفسجية وهى ذات طاقة عالية، وأطلق عليها الأشعة المجهولة أو **الأشعة السينية** لأنه لم يكن يعرف ماهيتها.

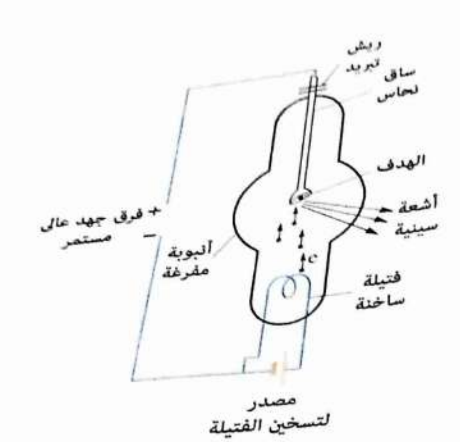
خصائص الأشعة السينية

1. ذات قدرة كبيرة على اختراق الأوساط حيث إن طولها الموجى قصير جدًا.
2. ذات قدرة كبيرة على تأيين الغازات حيث إن طاقتها عالية جدًا.
3. يحدث لها حيود عند مرورها خلال البلورات حيث إن طولها الموجى قصير مقارنة بالمسافات البينية بين الذرات فى البلورات.
4. تؤثر على الألواح الفوتوغرافية الحساسة حيث إن لها تأثير كيميائى.

الحصول على الأشعة السينية باستخدام أنبوبة كولدج

التركيب

أنبوبة زجاجية مفرغة من الهواء تحتوى على :



١. فتيلة تعمل كمصدر للإلكترونات (الكاثود).
٢. مصدر كهربى لتسخين الفتيلة.
٣. هدف من عنصر عدده الذرى كبير ودرجة انصهاره عالية مثل التنجستين.
٤. ريش تبريد مثبتة على ساق نحاسية تتصل بالهدف (الأنود) لتبريده.
٥. مصدر فرق جهد عالى مستمر بين الفتيلة (الكاثود) والهدف (الأنود)، **لتعجيل** الإلكترونات المنبعثة من الفتيلة.

شرح العمل

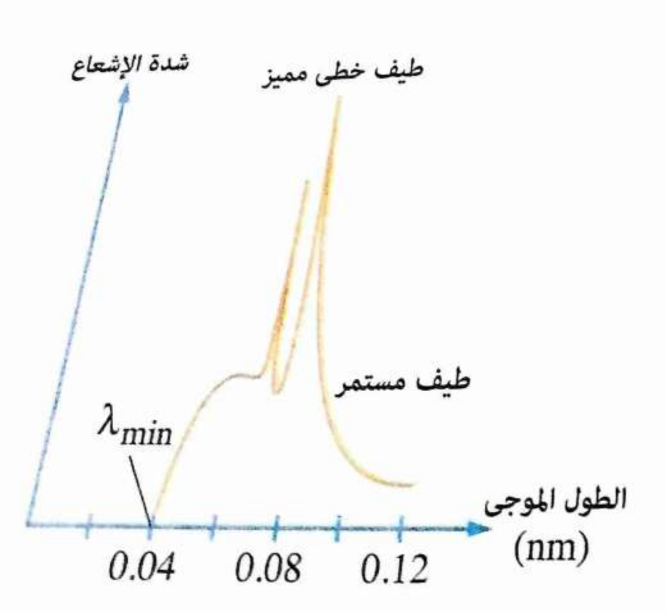
١. عند تسخين الفتيلة (المهبط) تنطلق الإلكترونات منها نحو الهدف تحت تأثير المجال الكهربى.
٢. تكتسب الإلكترونات طاقة حركة كبيرة يتوقف مقدارها على فرق الجهد بين الفتيلة والهدف وتحسب طاقة الحركة العظمى للإلكترونات من العلاقة :

$$eV = (KE)_{max} = \frac{1}{2} m_e v^2$$

٣. عند اصطدام الإلكترونات بالهدف ينطلق من الهدف الأشعة السينية بالإضافة إلى كمية كبيرة من الطاقة الحرارية.

طيف الأشعة السينية

* بتحليل حزمة من الأشعة السينية الصادرة من هدف ما إلى مكوناتها من الأطوال الموجية المختلفة نحصل على طيف يتكون من مركبتين كما بالشكل :



١. طيف مستمر يحتوى على جميع الأطوال الموجية فى مدى معين، **ولا يتوقف على نوع مادة الهدف بل يعتمد على فرق الجهد بين الفتيلة والهدف.**

٢. طيف خطى يقابل أطوالاً موجية محددة **تميز العنصر المكون لمادة الهدف.**

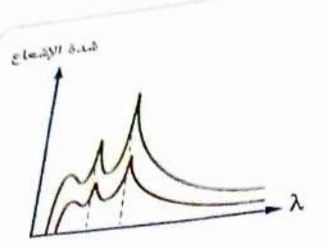
ويمكن التمييز بينهما كما يلى :

الطيف المستمر (المتصل) للأشعة السينية		الطيف الخطى (المميز) للأشعة السينية
أشعة الكابح (الفرملة) أو الإشعاع اللين أو الإشعاع الناعم	**يطلق عليه**	الإشعاع الشديد أو الحاد
- عند مرور الإلكترونات المُعجلة المنبعثة من الكاثود (الفتيلة) قرب إلكترونات ذرات مادة الهدف تتناقص سرعتها وتقل طاقتها نتيجة التصادمات والتشتت. - طبقًا لنظرية ماكسويل هيرتز يظهر الفقد فى طاقة الإلكترونات على شكل إشعاعًا كهرومغناطيسيًا يحتوى على جميع الأطوال الموجية الممكنة لأن الإلكترونات تفقد طاقتها على دفعات وبدرجات متفاوتة.	**كيفية التولد**	- عند تصادم أحد الإلكترونات المُعجلة المنبعثة من الكاثود (الفتيلة) بأحد الإلكترونات القريبة من نواة إحدى ذرات مادة الهدف يكتسب الأخير طاقة تجعله ينتقل إلى مستوى طاقة أعلى أو يغادر الذرة ويحل محله إلكترون آخر من مستوى طاقة أعلى. - يظهر الفرق بين طاقتى المستويين على شكل إشعاع له طول موجى محدد، يمكن تعيينه من العلاقة : $\lambda = \frac{hc}{\Delta E}$
- يتوقف أقصر طول موجى (λ_{min}) للطيف المستمر على فرق الجهد بين الفتيلة والهدف حيث $(\lambda_{min} \propto \frac{1}{V})$. - لا يتوقف على نوع مادة الهدف. - يحسب من العلاقة : $eV = (KE)_{max} = \frac{1}{2} m_e v^2 = h\upsilon_{max} = \frac{hc}{\lambda_{min}}$ (للإلكترون: $eV = (KE)_{max} = \frac{1}{2} m_e v^2$ ، لفوتون أشعة X: $h\upsilon_{max} = \frac{hc}{\lambda_{min}}$)	**العوامل التى يتوقف عليها الطول الموجى**	- يتوقف الطول الموجى للطيف المميز على نوع مادة الهدف حيث يقل بزيادة العدد الذرى لعنصر مادة الهدف. - لا يتوقف على فرق الجهد بين الفتيلة والهدف إلا أن الأشعة المميزة قد لا تظهر عند فروق الجهد المنخفضة. - يحسب من العلاقة : $\Delta E = E_2 - E_1 = h\upsilon = \frac{hc}{\lambda}$

ملاحظات

* **عند زيادة فرق الجهد بين الآنود والكاثود :**

تزداد طاقة حركة الإلكترونات المصطدمة بمادة الهدف، فيزداد مدى وشدة الأشعة السينية الناتجة، ويقل أقصر طول موجى للطيف المستمر حيث ($\lambda_{min} \propto \frac{1}{V}$) ويمثل المنحنيان المشار لهما باللونين البرتقالى والأخضر طيف الأشعة السينية المنبعثة من أنبوبة كولدج قبل وبعد زيادة فرق الجهد بين الآنود والكاثود على الترتيب.



* **يمكن زيادة شدة الأشعة السينية عن طريق :**

(١) زيادة شدة تيار الفتيلة، مما يؤدى إلى زيادة معدل انبعاث الإلكترونات من الفتيلة والتى تصطدم بالهدف فيزداد معدل انبعاث فوتونات أشعة إكس من الهدف.

(٢) زيادة فرق الجهد بين الآنود والكاثود.

* **يمكن زيادة نفاذية أشعة إكس عن طريق** زيادة فرق الجهد بين الآنود والكاثود.

مثال ١

فى أنبوبة كولدج إذا كان التيار الناتج عن حركة الإلكترونات فى الأنبوبة شدته 10 mA وفرق الجهد بين الفتيلة والهدف 15 kV، **احسب :**

(أ) الطاقة العظمى للإلكترونات.

(ب) أقصى سرعة للإلكترونات.

(جـ) أقصر طول موجى للأشعة السينية الصادرة.

(د) عدد الإلكترونات التى تصل للهدف فى الثانية.

(علمًا بأن : $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C ، $m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg ، $h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s ، $c = 3 \times 10^8$ m/s)

الحل

$I = 10 \times 10^{-3}$ A | $V = 15 \times 10^3$ V | $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C | $m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg

$h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s | $c = 3 \times 10^8$ m/s | $(KE)_{max} = ?$ | $v = ?$ | $\lambda_{min} = ?$ | $N = ?$

(أ) $(KE)_{max} = eV = 1.6 \times 10^{-19} \times 15 \times 10^3 = \mathbf{2.4 \times 10^{-15}}$ **J**

(ب)

$$(KE)_{max} = \frac{1}{2} m_e v^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2\,(KE)_{max}}{m_e}} = \sqrt{\frac{2 \times 2.4 \times 10^{-15}}{9.1 \times 10^{-31}}} = \mathbf{72.63 \times 10^{6}\ m/s}$$

(جـ)

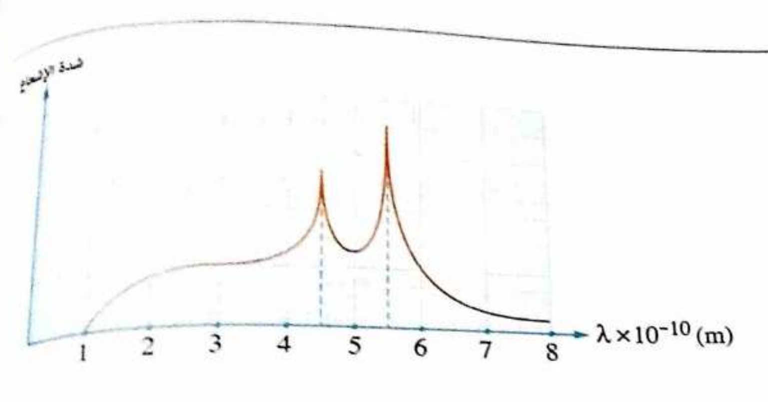
$$\lambda_{min} = \frac{hc}{(KE)_{max}} = \frac{6.625 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{8}}{2.4 \times 10^{-15}} = \mathbf{8.28 \times 10^{-11}\ m = 0.828\ \text{Å}}$$

(د)

$$N = \frac{Q}{e} = \frac{It}{e} = \frac{10 \times 10^{-3} \times 1}{1.6 \times 10^{-19}} = \mathbf{6.25 \times 10^{16}\ electron}$$

مثال ٢

الشكل البيانى المقابل يوضح العلاقة بين شدة الإشعاع والطول الموجى لطيف الأشعة السينية المنبعثة من أنبوبة كولدج، **احسب :**



(أ) فرق الجهد بين الفتيلة والهدف.

(ب) أعلى تردد للطيف الخطى للأشعة السينية.

(علمًا بأن : $c = 3 \times 10^{8}$ m/s ، $h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s ، $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C)

الحـــل

$\lambda_{min} = 1 \times 10^{-10}$ m | $\lambda_1 = 4.5 \times 10^{-10}$ m | $\lambda_2 = 5.5 \times 10^{-10}$ m | $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C

$h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s | $c = 3 \times 10^{8}$ m/s | $V = ?$ | $\upsilon_{max} = ?$

(أ)

$$eV = \frac{hc}{\lambda_{min}}$$

$$V = \frac{hc}{e\lambda_{min}} = \frac{6.625 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{8}}{1.6 \times 10^{-19} \times 1 \times 10^{-10}} = \mathbf{1.24 \times 10^{4}\ V}$$

(ب)

$$\upsilon_{max} = \frac{c}{\lambda_1} = \frac{3 \times 10^{8}}{4.5 \times 10^{-10}}$$

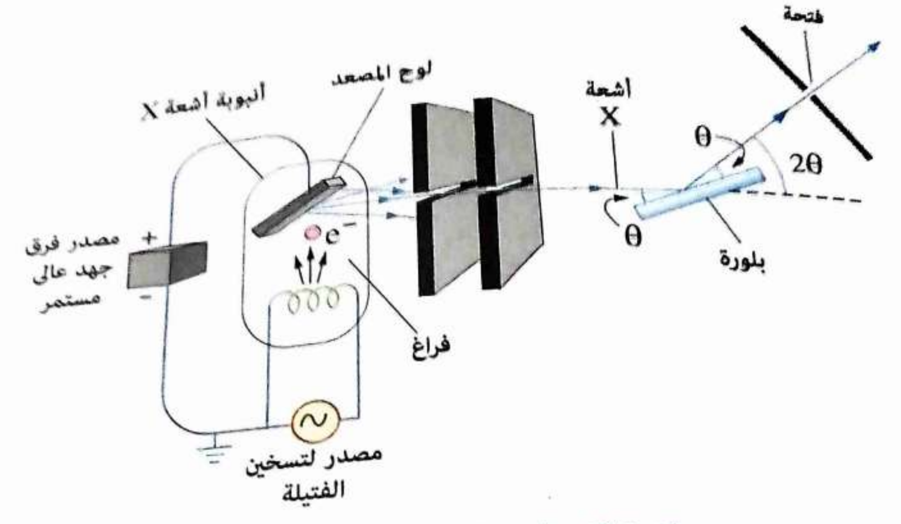
$$= \mathbf{6.67 \times 10^{17}\ Hz}$$

تطبيقات الأشعة السينية

• تستخدم الأشعة السينية فى :

(١) دراسة التركيب البلورى المواد،

لأن الأشعة السينية تتميز بقابليتها للحيود عند مرورها فى البلورات فيحدث تداخل بين الموجات التى تنفذ من بين الذرات كما لو كانت فتحات متعددة (مثل محزوز الحيود) حيث تتكون هُدب مضيئة وهُدب مظلمة تبعًا لفرق المسار بين الموجات المتداخلة.



استخدام أشعة إكس فى دراسة التركيب البلورى للمواد

(٢) الكشف عن العيوب التركيبية فى المواد المستخدمة فى الصناعات المعدنية،

نظرًا لقدرتها الكبيرة على النفاذ خلال المسافات متناهية الصغر والتى لا ينفذ منها الضوء المنظور حيث إن الطول الموجى للأشعة السينية أقل من المسافات البينية بين الذرات.



(٣) تصوير العظام وتحديد أماكن الكسور أو الشروخ وبعض التشخيصات الطبية،

نظرًا لقدرتها على اختراق الأجسام بدرجات متفاوتة حيث تنفذ من أماكن الكسور بدرجة أكبر من نفاذها خلال العظام وأيضًا تأثيرها على الألواح الفوتوغرافية الحساسة وبذلك يتم تحديد أماكن الكسور أو الشروخ.

57 اختبـر نفسك

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

١ قدرة أشعة X الناتجة من أنبوبة كولدج على اختراق المواد **لا تعتمد** على ....

(أ) الطول الموجى للأشعة

(ب) طاقة الإلكترونات المنبعثة من المهبط

(جـ) شدة تيار الفتيلة بأنبوبة كولدج

(د) فرق الجهد المطبق بين المهبط والمصعد

---

٢ إذا كان فرق الجهد بين المصعد والمهبط فى أنبوبة كولدج 1.4×10^4 V ، فإن أقل طول موجى للطيف المستمر للأشعة السينية المنبعثة يساوى ....

(علمًا بأن : $h = 6.625 \times 10^{-34}$ J.s ، $c = 3 \times 10^8$ m/s ، $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C)

(أ) 8.87×10^{-11} m

(ب) 5.96×10^{-10} m

(جـ) 9.78×10^{-10} m

(د) 2.63×10^{-9} m

---

٣ الشكل البيانى المقابل يمثل العلاقة بين شدة الأشعة السينية والطول الموجى لها (λ) لطيفين ناتجين من أنبوبتى كولدج يعملان على فرقى جهدين مختلفين V_1 ، V_2 وهدفين من مادتين مختلفتين عددهما الذرى Z_1 ، Z_2 لذلك فإن ....

شدة الإشعاع

(1)

(2)

λ

	العلاقة بين V_1 ، V_2	العلاقة بين Z_1 ، Z_2
(أ)	$V_1 > V_2$	$Z_1 > Z_2$
(ب)	$V_1 > V_2$	$Z_1 < Z_2$
(جـ)	$V_1 < V_2$	$Z_1 = Z_2$
(د)	$V_1 < V_2$	$Z_1 < Z_2$

الوحدة الثانية
مقدمة
في الفيزياء الحديثة

الفصل

7

2022/07/19 22:00



فى هذا الفصل سوف نتعرف :

- الانبعاث التلقائى والانبعاث المستحث.
- العناصر الأساسية لليزر.
- أنواع الليزر.
- تطبيقات على الليزر.
- خصائص أشعة الليزر.
- نظرية عمل الليزر (الفعل الليزرى).
- ليزر (الهيليوم - نيون).

* قام العالم الأمريكى ميمان عام ١٩٦٠م باختراع أول جهاز ليزر باستخدام بلورة من الياقوت المطعم بالكروم، ثم توالى ابتكار الأنواع المختلفة من أجهزة الليزر حتى أصبح الليزر يغطى مناطق عديدة من الطيف الكهرومغناطيسى منها المنطقة المرئية وفوق البنفسجية وتحت الحمراء وغيرها مما أدى إلى انتشار استخدامه سواء فى أفرع العلوم التطبيقية كالطب والهندسة والاتصالات أو أفرع العلوم الأساسية كالكيمياء والفيزياء والبيولوجيا والچيولوچيا.

* جاءت تسمية كلمة ليزر **(LASER)** من الحروف الأولى للعبارة :

Light **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation

وتعنى تكبير شدة الضوء بواسطة الانبعاث المستحث للإشعاع وهى تعبر عن فكرة عمل الليزر.

الانبعاث التلقائى والانبعاث المستحث Spontaneous Emission and Stimulated Emission

* تكون الذرة فى الحالة العادية (مستقرة) عندما تكون فى المستوى الأرضى (طاقته E_0)، وعندما تكتسب الذرة فوتون طاقته $h\upsilon = E_n - E_0$ حيث ($E_n = E_1$ أو E_2 أو E_3 أو ...) فإنها تنتقل من المستوى الأرضى إلى أحد مستويات الطاقة الأعلى (E_n) والتى تسمى مستويات الإثارة، وتعرف هذه العملية بعملية **إثارة الذرة.**

إثارة الذرة

عملية امتصاص الذرة لفوتون وانتقالها من المستوى الأرضى إلى أحد مستويات الإثارة.

* تفقد الذرة المثارة طاقة الإثارة بعد فترة زمنية قصيرة جدًا وتعود إلى مستواها الأرضى، **وذلك بإحدى الطريقتين :**

1. **الانبعاث التلقائى** ويحدث بعد انتهاء **فترة العمر** للذرة فى حالة الإثارة بدون مؤثر خارجي.

2. **الانبعاث المستحث** ويحدث قبل انتهاء فترة العمر للذرة فى حالة الإثارة بتأثير سقوط فوتون آخر له نفس طاقة الإثارة عليها.

فترة العمر

الفترة الزمنية التى تتخلص بعدها الذرة من طاقة الإثارة بإشعاعها على شكل فوتون وتعود إلى حالتها العادية تلقائيًا.

ويمكن توضيح الفرق بينهما كما يلى :

الانبعاث التلقائى	الانبعاث المستحث
كيفية الحدوث	
عند انتقال الذرة المثارة من مستوى الإثارة إلى مستوى آخر أقل منه فى الطاقة تلقائيًا (دون أى مؤثر خارجى) بعد انتهاء فترة العمر (حوالى 10^{-8} s) تشع الذرة فوتونًا طاقته تساوى الفرق بين طاقتى المستويين	عند انتقال الذرة المثارة من مستوى الإثارة إلى مستوى آخر أقل منه فى الطاقة قبل انتهاء فترة العمر بتأثير سقوط فوتون طاقته تساوى فرق الطاقة بين المستويين تشع الذرة فوتونًا طاقته تساوى الفرق بين طاقتى المستويين منبعثًا مع الفوتون الساقط
E_2, E_1 — ذرة مثارة $h\upsilon = E_2 - E_1$ — انبعاث تلقائى	E_2, E_1, $h\upsilon$ — ذرة مثارة $h\upsilon = E_2 - E_1$ $h\upsilon = E_2 - E_1$ — انبعاث مستحث
خصائص الفوتونات المنبعثة من الذرة	
– ينبعث فوتون طاقته تساوى فرق الطاقة بين المستويين.	– ينبعث فوتونان متساويان فى التردد يتحركان فى نفس الاتجاه بنفس الطور (أى مترابطان).
– الفوتونات المنبعثة من ذرات الوسط تغطى مدى كبير من الأطوال الموجية فى الطيف الكهرومغناطيسى.	– للفوتونات المنبعثة من ذرات الوسط طول موجى واحد فقط أى أنها تكون طيفًا أحادى اللون.
– تنتشر الفوتونات بصورة عشوائية فى جميع الاتجاهات.	– تنتشر الفوتونات فى اتجاه واحد على هيئة أشعة متوازية.
– يقل تركيز الفوتونات أثناء الانتشار، بحيث تتناسب شدة الإشعاع عكسيًا مع مربع البُعد عن المصدر **(تخضع لقانون التربيع العكسى)**.	– تظل شدة الإشعاع ثابتة أثناء انتشارها لمسافات طويلة **(لا تخضع لقانون التربيع العكسى)**.
أمثلة	
مصادر الضوء العادية مثل مصباح التنجستين	مصادر الليزر

* مما سبق يمكن تعريف كل من الانبعاث التلقائى والانبعاث المستحث وقانون التربيع العكسى كالتالى :

الانبعاث التلقائي

انطلاق فوتون من الذرة المثارة عند انتقالها من مستوى طاقة أعلى إلى مستوى طاقة أقل بعد انتهاء فترة العمر تلقائيًا (بدون أى مؤثر خارجي).

الانبعاث المستحث

انطلاق فوتون من الذرة المثارة نتيجة سقوط فوتون آخر خارجي له نفس طاقة الفوتون المسبب لإثارتها قبل انتهاء فترة العمر لتخرج فى النهاية فوتونات فى حالة ترابط (لها نفس الطور والاتجاه والتردد).

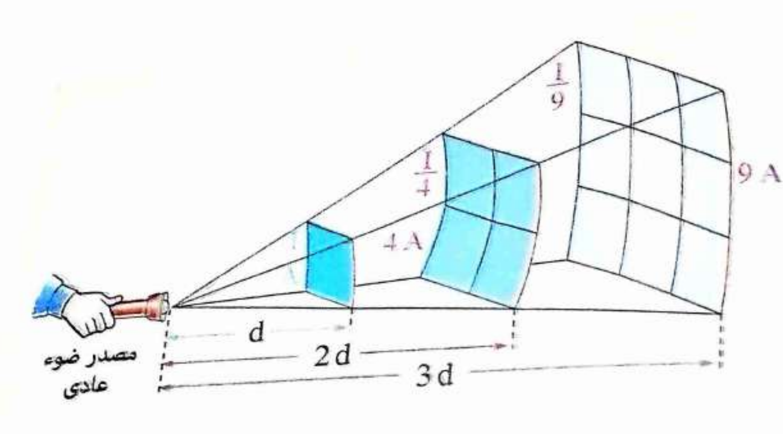
قانون التربيع العكسي

تتناسب الشدة الضوئية (I) الساقطة على سطح عكسيًا مع مربع المسافة (d^2) بين السطح والمصدر الضوئى.

أى أن

$$I \propto \frac{1}{d^2}$$

$$\therefore \frac{I_1}{I_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2}$$



(حيث (A) تمثل المساحة)

ملاحظة

* **بالرغم من انبعاث فوتونين بتأثيرفوتون واحد فى عملية الانبعاث المستحث، فإن ذلك لا يُعد خرقًا لقانون بقاء الطاقة،**

لأن أحد الفوتونين هو الفوتون الساقط على الذرة المثارة والآخر ناتج عن عودة الذرة من مستوى الإثارة إلى مستوى طاقة أقل.

خصائص أشعة الليزر

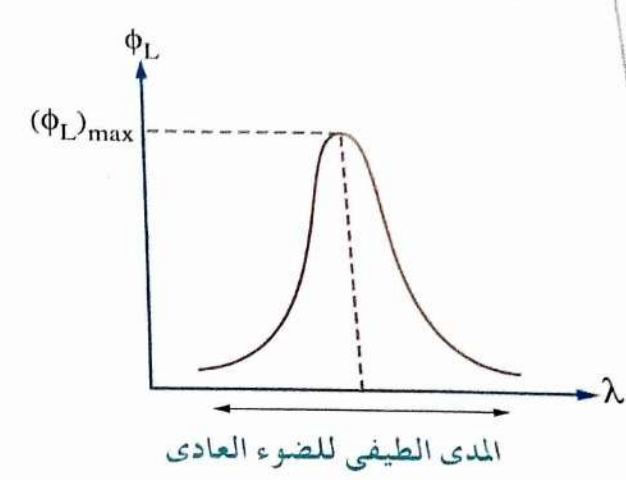
* تتميز أشعة الليزر عن أشعة الضوء العادى فى أنها ناتجة عن انبعاث مستحث للذرات أما أشعة الضوء العادى يكون الانبعاث السائد فيها هو الانبعاث التلقائى، وهذا الاختلاف ينعكس على خصائص كل منهما كما يلى :

الضوء العادى	الليزر

النقاء الطيفى

الضوء العادى:

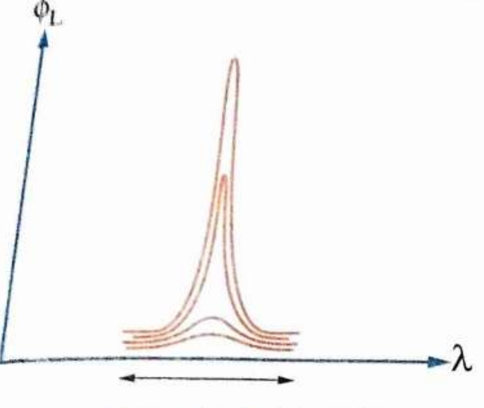
- الفوتونات المنبعثة لها مدى كبير من الأطوال الموجية (أى يتميز باتساع طيفى كبير) لذا توجد درجات مختلفة من اللون الواحد.
- تتفاوت شدة الإشعاع من طول موجى لآخر.



المدى الطيفى للضوء العادى

الليزر:

- الفوتونات المنبعثة لها مدى ضئيل جدًا من الأطوال الموجية (أى يتميز باتساع طيفى صغير).
- تتركز الشدة عند طول موجى معين لذلك يعتبر ضوء أحادى الطول الموجى.



المدى الطيفى لضوء الليزر

الترابط

الضوء العادى:

- فوتونات الضوء العادى غير مترابطة زمانيًا ومكانيًا لأنها :
  - تنطلق من المصدر فى لحظات مختلفة.
  - تنتشر باختلاف كبير وغير ثابت فى الطور.

الليزر:

- فوتونات الليزر مترابطة زمانيًا ومكانيًا لأنها :
  - تنطلق من المصدر فى نفس اللحظة.
  - تحتفظ فيما بينها بفرق طور ثابت أثناء الانتشار لمسافات طويلة مما يجعلها أكثر شدة وأكثر تركيزًا.

الشدة

الضوء العادى:

تقل شدة الضوء الساقط على السطح بزيادة المسافة بين السطح والمصدر الضوئى ويرجع ذلك إلى عدم ترابط الفوتونات وكذلك انفراج وتشتت الأشعة الضوئية وبالتالى تخضع لقانون التربيع العكسى أثناء انتشارها



الليزر:

تظل شدة الضوء الساقط على السطح ثابتة تقريبًا مهما كانت المسافة بين السطح والمصدر الضوئى ويرجع ذلك إلى ترابط الفوتونات وصغر انفراج ومحدودية تشتت أشعتها فتكون الأشعة أكثر شدة وتركيز فتنتشر لمسافات بعيدة دون تشتت يذكر وبالتالى لا تخضع لقانون التربيع العكسى



يزداد قطر الحزمة الضوئية أثناء انتشارها نتيجة التشتت (زاوية الانفراج كبيرة نسبيًا)	**توازى الحزمة الضوئية** يظل قطر الحزمة الضوئية ثابتًا أثناء الانتشار لمسافات طويلة، حيث تتحرك حزمة الليزر بصورة متوازية (زاوية الانفراج ضئيلة جدًا) ولا تعانى تشتت يذكر لأن فوتونات الليزر مترابطة زمانيًا ومكانيًا ومن ثم يمكن نقل الطاقة الضوئية لمسافات طويلة دون فقد ملحوظ

اختبر نفسك

مجاب عنها

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

لا تتبع أشعة الليزر قانون التربيع العكسى فى الضوء لأنها ....

(أ) متوازية وقليلة التشتت
(ب) ذات شدة منخفضة
(ج) ذات طول موجى واحد
(د) قصيرة الطول الموجى

العناصر الأساسية لليزر

* بالرغم من وجود أنواع مختلفة من الليزر إلا أن أى جهاز ليزر يتضمن ثلاثة عناصر أساسية، هى :



وسنتناول فيما يلى كل منها على حدة بشىء من التفصيل.

١ الوسط الفعال

* هو المادة الفعالة التى تنبعث من ذراتها فوتونات الليزر، وقد يكون فى صورة :

١ بلورات صلبة — مثل — الياقوت الصناعى.

٢ مواد صلبة شبه موصلة — مثل — بلورات السيليكون.

٣ صبغات سائلة — مثل — الصبغات العضوية المذابة فى الماء.

٤ ذرات غازية — مثل — خليط غازى الهيليوم والنيون.

٥ غازات متأينة — مثل — غاز الأرجون المتأين.

٦ جزيئات غازية — مثل — غاز ثانى أكسيد الكربون.

٢ مصـادر الطاقـة

* هى المسئولة عن إكساب ذرات أو جزيئات أو أيونات الوسط الفعال الطاقة اللازمة لإثارتها، ومنها :

١ الإثارة بالطاقة الكهربية :

وتتم عن طريق :

- التفريغ الكهربى باسـتخدام فرق جهد عالى مسـتمر وغالبًا ما تسـتخدم هذه الطريقة فى أجهزة الليزر الغازية مثل ليزر (الهيليوم – نيون) وليزر ثانى أكسيد الكربون وليزر الأرجون.
- استخدام مصادر الترددات الراديوية.

٢ الإثارة بالطاقة الضوئية :

وتعرف بالضخ الضوئى وتتم عن طريق استخدام :

- المصابيح الوهاجة ذات الطاقات العالية كما فى ليزر الياقوت.
- شعاع ليزر كما فى ليزر الصبغات السائلة.

عملية الضخ الضوئى

إثارة ذرات الوسط الفعال بالطاقة الضوئية لتوليد الليزر.

٣ الإثـارة بالطاقـة الحراريـة : حيث يسـتخدم التأثير الحـرارى الناتج عن الضغط الحركى للغازات فى إثارة ذرات المـواد التـى تبعث أشـعة الليزر.

٤ الإثارة بالطاقة الكيميائية : حيث تستخدم الطاقة الناتجة عن بعض التفاعلات الكيميائية لإنتاج شعاع الليزر مثل الطاقة الناتجة عن تفاعل مزيج من الهيدروچين والفلور أو فلوريد الديوتيريوم وثانى أكسيد الكربون.

٣ التجويف الرنينى

* هو الوعاء الحاوى للمادة الفعالة والمنشط والمسئول عن عملية التكبير، وهو نوعان :

١ تجويف رنينى خارجى

- عبـارة عـن مرآتيـن متوازيتيـن وعموديتـين على محـور الأنبوبـة إحداهمـا عاكسة والأخـرى شبه منفذة تحصـران بينهما المـادة الفعالـة بحيث تكون الانعكاسـات المتعددة بينهما هى الأسـاس فى عملية التكبيـر الضوئـى وهـو نـوع التجويف المسـتخدم فى ليزر الغـازات، **مثل** ليـزر (الهيليـوم – نيـون).

مرآة عاكسة

مرآة شبه منفذة

الوسط الفعال

٢ تجويف رنينى داخلى

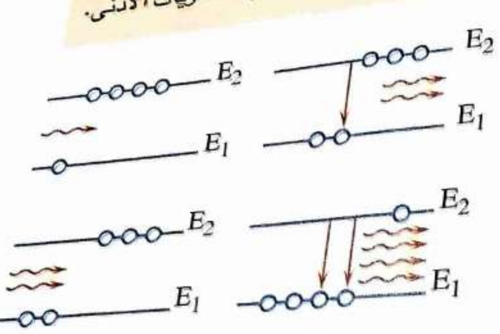
- حيث يتم طـلاء نهايتى المادة الفعالة لتعملا كمرآتين متوازيتين ومتعامدتـين على محور الأنبوبة إحداهما عاكسـة والأخرى شـبه منفذة لتسـمح بمرور بعض أشـعة الليزر المتولدة وهو نوع التجويف المسـتخدم فى ليزر الجوامد، **مثل** ليزر الياقوت.



نظرية عمل الليزر (الفعل الليزرى)

• يعتمد الفعل الليزرى على :

1. الوصول بذرات أو جزيئات الوسط الفعال إلى حالة الإسكان المعكوس.



حالة الإسكان المعكوس

الحالة التى يكون فيها عدد الذرات فى مستويات الإثارة العليا أكبر من عددها فى المستويات الأدنى.

2. انطلاق فوتونات من الذرات المثارة بالانبعاث المستحث.

3. تضخيم الإشعاع المنطلق بالانبعاث المستحث داخل التجويف الرنينى حيث تحدث انعكاسات متتالية للشعاع بين سطحى مرآتى التجويف فيحث ذرات أخرى على طول مساره لتولد فوتونات جديدة.

أنواع الليزر

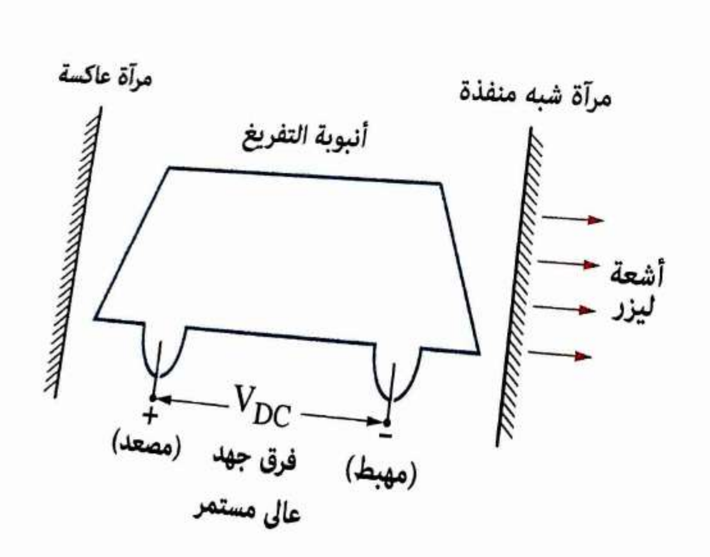
• هناك أنواع مختلفة من الليزر فهناك :

- ليزرات صلبة **مثل** ليزر الياقوت.
- ليزرات سائلة **مثل** ليزر الصبغات السائلة.
- ليزرات غازية **مثل** ليزر (الهيليوم – نيون) وليزر الأرجون.

وسوف نتناول بشىء من التفصيل دراسة أحد الليزرات الغازية وهو ليزر (الهيليوم – نيون).

ليزر (الهيليوم - نيون) Helium-Neon Laser

تركيب الجهاز



1. أنبوبة من زجاج الكوارتز بها خليط من ذرات غازى الهيليوم والنيون بنسبة 10 : 1 تحت ضغط منخفض حوالى 0.6 mmHg

2. مرآتان مستويتان متوازيتان ومتعامدتان على محور الأنبوبة إحداهما عاكسة (معامل انعكاسها 99.5 %) والأخرى شبه منفذة (معامل انعكاسها 98 %).

3. مجال كهربى عالى التردد أو فرق جهد كهربى عالى مستمر يسلط على الغاز داخل الأنبوبة لإحداث تفريغ كهربى وإثارة ذرات الغاز.

شرح العمل

١ يعمل فرق الجهد الكهربى على حدوث تفريغ كهربى خلال الأنبوبة والذى يؤدى إلى إثارة ذرات الهيليوم إلى مستويات طاقة أعلى.

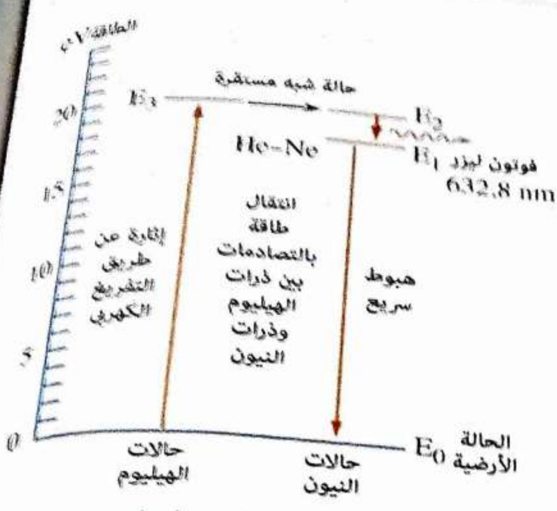
٢ تصطدم ذرات الهيليوم المثارة تصادمًا غير مرنًا مع ذرات نيون غير مثارة ونظرًا لتقارب قيم طاقة مستويات الإثارة شبه المستقرة فيهما تنتقل طاقة الإثارة من ذرات الهيليوم إلى ذرات النيون فتثار ذرات النيون.

٣ باستمرار عملية التصادم بين ذرات الهيليوم المثارة وذرات النيون يحدث تراكم لذرات النيون فى مستوى إثارة يتميز بكبر فترة العمر له (حوالى 10^{-3} s) يعرف **بمستوى الطاقة شبه المستقر**، وبذلك يتحقق وضع الإسكان المعكوس لغاز النيون.

٤ تهبط بعض ذرات النيون تلقائيًا إلى مستوى إثارة أقل وينطلق منها فوتونات طاقة كل منها تساوى الفرق بين طاقتى المستويين، تنتشر هذه الفوتونات بصورة عشوائية فى جميع الاتجاهات داخل الأنبوبة.

٥ الفوتونات التى تتحرك فى اتجاه محور الأنبوبة أو موازية له تصطدم بإحدى المرآتين فترتد إلى الداخل مرة أخرى لتحدث عدة انعكاسات متتالية.

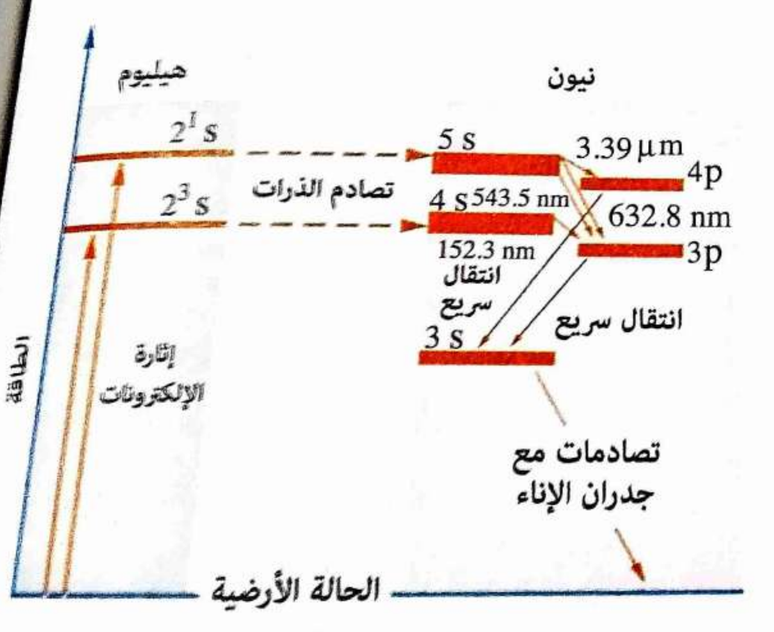
٦ أثناء حركة الفوتونات بين المرآتين تصطدم ببعض ذرات النيون التى لم تنتهى فترة العمر لها فى المستوى شبه المستقر، فيحدث لها انبعاث مستحث وينطلق من كل ذرة فوتونان لهما نفس التردد والطور والاتجاه.



مخطط مستويات الطاقة فى ليزر (الهيليوم - نيون)

مستوى الطاقة شبه المستقر

مستوى طاقة يتميز بفترة عُمر طويلة نسبيًا (حوالى 10^{-3} s) وهى أكبر بحوالى 10^5 مرة من فترة العُمر لمستويات الإثارة المعتادة.



الانتقالات الفعلية بين مستويات الطاقة فى ليزر (الهيليوم - نيون)

٧ تتكرر الخطوة السابقة مرات عديدة وفى كل مرة يتضاعف عدد الفوتونات الناتج بالانبعاث المستحث فى الاتجاه الموازى لمحور الأنبوبة حتى تتم عملية تضخيم الإشعاع.

٨ عندما تصل شدة الإشعاع إلى حد معين يخرج جزء منه من خلال المرآة شبه المنفذة على شكل شعاع ليزر ويبقى باقى الإشعاع داخل الأنبوبة لتستمر عملية الانبعاث المستحث وتضخيم شعاع الفوتونات وانطلاق الليزر.

٩ ذرات النيون التى هبطت إلى مستوى الإثارة الأقل تفقد ما بقى بها من طاقة إثارة بطرق متعددة مثل التصادم أو الانبعاث التلقائى كإشعاع حرارى وتهبط إلى المستوى الأرضى ثم تعود لتثار بالتصادم مع ذرات هيليوم مثارة أخرى.

١٠ ذرات الهيليوم التى فقدت طاقة إثارتها بالتصادم بذرات النيون تثار بدورها مرة أخرى بفعل التفريغ الكهربى داخل الأنبوبة وهكذا.

ملاحظات

* **خليط غازى الهيليوم والنيون مناسب لإنتاج ليزر غازى.**

لتقارب قيم طاقة مستويات الإثارة شبه المستقرة فيهما.

* **يشترط فى مصادر الليزر أثناء التشغيل أن يصل الوسط الفعال لوضع الإسكان المعكوس فى حين لا يتطلب ذلك فى مصادر الضوء العادية.**

لأن أساس عمل الليزر تواجد أكبر عدد من الذرات فى مستوى إثارة شبه مستقر حتى يكون الانبعاث المستحث هو الانبعاث السائد أما فى مصادر الضوء العادية يكون الانبعاث التلقائى هو الانبعاث السائد.

59 اختبر نفسك

مجاب عنها

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

١ فى ليزر (الهيليوم - نيون) من خطوات إنتاج شعاع الليزر فقد ذرة الهيليوم المثارة لطاقة إثارتها عن طريق تصادمها مع ....

(أ) ذرة هيليوم أخرى مستقرة
(ب) جدران أنبوبة التفريغ الكهربى
(ج) ذرة نيون غير مثارة
(د) ذرة هيليوم أخرى مثارة

٢ من خطوات إنتاج ليزر (الهيليوم - نيون) تحقق وضع الإسكان المعكوس لذرات ....

(أ) الهيليوم فقط
(ب) النيون فقط
(ج) كل من الهيليوم والنيون
(د) أحيانًا الهيليوم وأحيان أخرى النيون

تطبيقات على الليزر

* تستخدم أشعة الليزر فى مجالات متعددة منها :

١ التصوير المجسم (الهولوجرافى).
٢ مجال الطب.
٣ مجال الاتصالات.
٤ المجالات العسكرية.
٥ مجال الصناعة.
٦ مجال الحاسبات.
٧ أعمال المساحة لتحديد المساحات والأبعاد بدقة.
٨ عروض الليزر والفنون.
٩ أبحاث الفضاء.

* وفيما يلى سنتناول بعضها بشىء من التفصيل :

١ التصوير المجسم (الهولوجرافى)

* تتكون صور الأجسام بتجميع الأشعة المنعكسة عن الجسم المراد تصويره على اللوح الفوتوغرافى حيث يتم تسجيل المعلومات التى تحملها الأشعة :

١ فى الصورة المستوية :

يسجل اللوح الفوتوغرافى الحساس **جزء فقط من المعلومات** التى تحملها الأشعة المنعكسة عن سطح الجسم وهو **الاختلاف فى الشدة الضوئية فقط**، والتى تتناسب طرديًا مع مربع سعة الموجة الضوئية.

٢ فى الصورة المجسمة :

يسجل اللوح الفوتوغرافى الحساس **كل المعلومات** التى تحملها الأشعة المنعكسة عن سطح الجسم مثل **الاختلاف فى الشدة الضوئية والاختلاف فى الطور نتيجة اختلاف طول مسار الأشعة** (والذى ينتج عن اختلاف تضاريس الجسم) ويمكن التعبير عن علاقة فرق الطور بين الأشعة المنعكسة وفرق المسار بينها بالعلاقة : (فرق الطور $= \frac{2\pi}{\lambda} \times$ فرق المسار).

مثال : فى الشكل المقابل تسقط أشعة ضوئية متوازية ومترابطة على وجه شخص حيث :

أشعة ضوئية متوازية ومترابطة
a
b
c
d
لوح فوتوغرافى حساس

* **النقطة a قاتمة وبارزة :**
فيكون الشعاع الضوئى المنعكس عنها شدته صغيرة ويرتحل مسافة أصغر.

* **النقطة b فاتحة اللون ومنخفضة :**
فيكون الشعاع الضوئى المنعكس عنها شدته أكبر ويرتحل مسافة أكبر.

وبالتالى فإن الشعاعين ac ، bd مختلفين فى الشدة والطور نتيجة اختلاف خصائص السطح (تباين اللون والتضاريس).

آلية التصوير المجسم

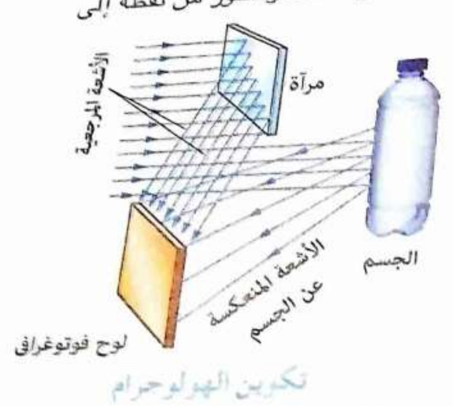
* اقترح العالم جابـور فى عام ١٩٤٨م طريقة لتسجيل ما لم يمكن تسجيله من معلومـات أثناء تكوين الصورة المستوية واستخراجها من الأشعة التى تترك الجسم المضاء ويتم ذلك كالآتى :

الأشعة المرجعية
أشـعة متوازيـة تسـتخدم فـى التصوير المجسـم لها نفـس الطول الموجى للأشـعة المنعكسة عن الجسم.

١ تقسـم حزمة من أشعة الليزر (أشعة متوازية ومترابطة وأحادية الطول الموجى) إلى قسمين :

(١) حزمـة يتم توجيهها بواسـطة المرآة المسـتوية إلى اللوح الفوتوغرافى تسمى **الأشعة المرجعية**.

(٢) حزمة تسقط على الجسم المراد تصويره وتنعكس وفيما بينها اختلاف فى الشدة والطور من نقطة إلى أخرى معبرة عن خصائص سطح الجسم.

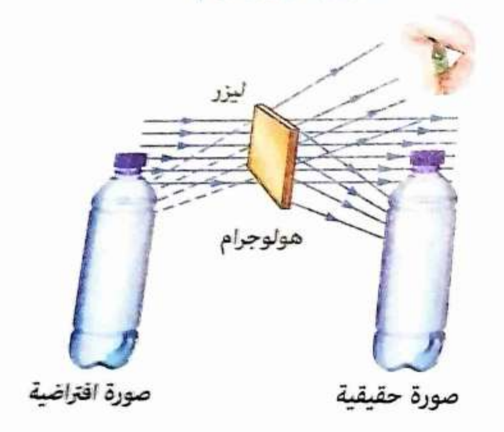


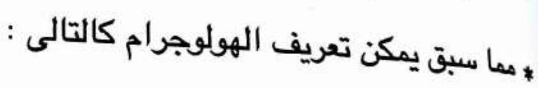
تكوين الهولوجرام

٢ تلتقى الأشـعة المرجعية مع الأشـعة التى تنعكس عن الجسم المضاء حاملة المعلومات عند اللوح الفوتوغرافى.

٣ يحـدث تداخـل ضوئى بـين حزمتى الأشـعة، وعند تحميض اللوح الفوتوغرافى تظهـر هُدب التداخل والتى يعتمد تكونها على فرق الطور بين الأشـعة على هيئة صورة مشـفرة تسمى **الهولوجرام**.

٤ بإنـارة الهولوجـرام بأشـعة ليزر لهـا نفس الطـول الموجى للأشـعة المرجعية وبالنظر خلالـه بالعين المجردة نرى صورة مماثلة للجسم تماماً بأبعاده الثلاثة دون استخدام عدسات.




* **مما سبق يمكن تعريف الهولوجرام كالتالى :**

الهولوجرام
صورة مشفرة تتكون نتيجة تداخل الأشعة المرجعية مع الأشعة المنعكسـة عن الجسـم المـراد تصويره وتظهر على شـكل هُدب تداخل بعد تحميض اللوح الفوتوغرافى.

ملاحظات

* **لا يمكن تكوين صور بأبعادها الثلاثية إلا باستخدام أشعة الليزر،**

لأن شرط الحصول على الصور ثلاثية الأبعاد استخدام فوتونات مترابطة توضح اختلاف كل من شدة الإضاءة وفرق الطور لهُدب التداخل الناتجة عنها وهذا لا يتوافر إلا فى أشعة الليزر.

* **باسـتخدام أشـعة الليزر يمكن تخزين عشـرات الصور على الهولوجرام كما يمكن الحصول على صور مجسـمة لأجسام متحركة.**

٢ مجـال الطـب

* تستخدم أشعة الليزر مع الألياف الضوئية فى التشخيص والعلاج بالمناظير.
* كما تستخدم أيضًا فى طب العيون :

١ لعلاج انفصال شبكية العين :

– عندما تنفصل بعض أجزاء من الشبكية عن الطبقة التى تحتها، يؤدى ذلك إلى فقد الأجزاء المصابة بالانفصال لوظيفتها، وإذا لم يتم علاجها بسرعة قد تتعرض العين لانفصال تام للشبكية وتفقد قدرتها على الإبصار.

– بتصويب حزمة رفيعة من الليزر إلى الأجزاء المصابة بالانفصال أو التمزق تعمل الطاقة الحرارية لأشعة الليزر على إتمام عملية الالتحام فى أجزاء من الثانية.

٢ **لعلاج حالات قصر النظر وطول النظر فيستغنى المريض عن النظارة.**

٣ مجـال الاتصـالات

* تستخدم أشعة الليزر والألياف الضوئية كبديل لكابلات التليفونات.

٤ المجـالات العسكريـة

* تسـتخدم أشـعة الليـزر فى توجيه الصواريخ بدقـة عالية وفى القنابل الذكية ورادار الليـزر، وفيما يُعرف بحرب النجوم حيث تستخدم أشعة الليزر لتدمير الصواريخ والطائرات وهى فى الفضاء بعد إطلاقها مباشرةً.

٥ مجـال الصناعـة

* تولد بعض أنواع الليزر طاقة تكفى لصهر المعادن (فمثلًا يمكن تركيز ضوء الليزر لإسالة الحديد وتبخيره) ومنها ما يولد طاقة تكفى لثقب الماس.

٦ مجـال الحاسبـات

* **يستخدم فى :**

١ التسجيل على الأقراص المدمجة (CDs).

٢ طابعة الليزر حيث يستخدم شعاع الليزر فى نقل المعلومات من الكمبيوتر إلى أسطوانة عليها مادة حساسة للضوء ثم يتم الطبع على الورق باستخدام الحبر.

60 اختبـر نفسـك

مجاب عنها

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

اسـتخدم شـعاع ليزر طوله الموجى λ فى التصوير المجسـم فكان فرق الطور بين الأشـعة المنعكسة $\frac{\pi}{2}$، فإن فرق المسار بينهما ....

(أ) $\frac{\lambda}{4}$ (ب) $\frac{\lambda}{2}$ (جـ) 2λ (د) 4λ

الوحدة الثانية
مقدمة
في الفيزياء الحديثة

الفصل

8



2022/07/19 22:34



الفصل 8

الدرس الأول

- بلورة شبه الموصل.
- الوصلة الثنائية.

في هذا الدرس سوف نتعرف :

- بلورة شبه الموصل النقى.
- طرق رفع كفاءة توصيل المادة شبه الموصلة.
- قانون فعل الكتلة فى أشباه الموصلات.
- الوصلة الثنائية [الدايود].

* أصبحت الأجهزة الإلكترونية تلعب دورًا أساسيًا فى حياتنا فى نقل المعلومات والترفيه والثقافة وفى مجال الطب سواء فى التشخيص أو المتابعة أو العمليات الجراحية وكذلك فى الحرب، وسنتناول خلال هذا الفصل قدرًا مبسطًا من المعلومات عن الإلكترونيات والتى يدخل فى تركيبها أشباه الموصلات.

أشباه الموصلات
مواد توصيليتها الكهربية متوسطة بين الموصلات والعوازل، وتتميز بأن التوصيلية الكهربية لها تزداد بارتفاع درجة الحرارة مثل السيليكون والجرمانيوم.

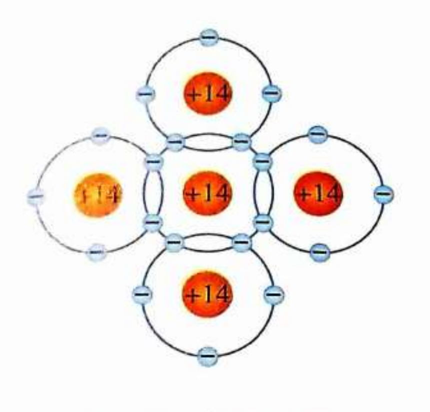
بلورة شبه الموصل النقى

* تحتوى كل ذرة من ذرات السيليكون (Si) أو الجرمانيوم (Ge) على 4 إلكترونات فى مدارها الأخير لذلك ترتبط كل ذرة داخل البلورة مع أربع ذرات مجاورة بروابط تساهمية ليكتمل المدار الأخير لها بـ 8 إلكترونات وتصل إلى حالة الاستقرار.

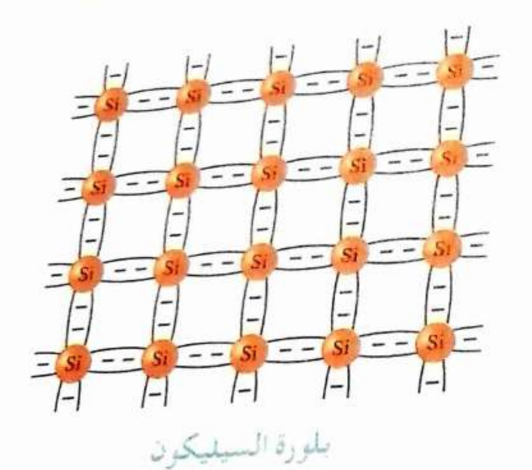
البلورة
ترتيب هندسى منتظم للذرات فى الحالة الصلبة.



ذرة سيليكون



الرابطة التساهمية



بلورة السيليكون

* **وهنا يمكن التمييز بين ثلاث حالات للإلكترونات فى بلورة شبه الموصل :**

1. **إلكترونات المستويات الداخلية فى الذرة** : ترتبط بشدة بالنواة.
2. **إلكترونات التكافؤ** : تشارك فى عمل روابط تساهمية بين الذرات.
3. **الإلكترونات الحرة المنطلقة من كسر الروابط التساهمية** : تتحرك حركة عشوائية محدودة بحيز أكبر هو البلورة.

* يمكن استخدام الطاقة الحرارية أو الضوئية فى كسر روابط البلورة، وتكون :

الطاقة اللازمة لكسر الرابطة = الطاقة الناتجة عن التئام (إعادة تكوين) الرابطة.

طرق رفع كفاءة توصيل المادة شبه الموصلة

* تتميز أشباه الموصلات بحساسيتها الشديدة للحرارة، وكذلك للشوائب لذلك يمكن زيادة التوصيل الكهربى لبلورة شبه الموصل بإحدى طريقتين :



١ رفع درجة الحرارة Raising the Temperature

* فى درجات الحرارة المنخفضة (خاصةً عند صفر كلفن) تكون بلورة شبه الموصل النقى عازلة تماماً للكهربية (التوصيلية الكهربية منعدمة).

لأن جميع الروابط بين ذرات البلورة تكون سليمة، ولا توجد إلكترونات حرة وتعمل البلورة كعازل مثالى.

تولد زوج (إلكترون - فجوة)

التئام إلكترون مع فجوة

* عند ارتفاع درجة حرارة البلورة تزداد توصيليتها الكهربية.

نتيجة كسر بعض الروابط التساهمية فتنطلق منها بعض الإلكترونات وتصبح إلكترونات حرة تتحرك حركة عشوائية داخل البلورة.

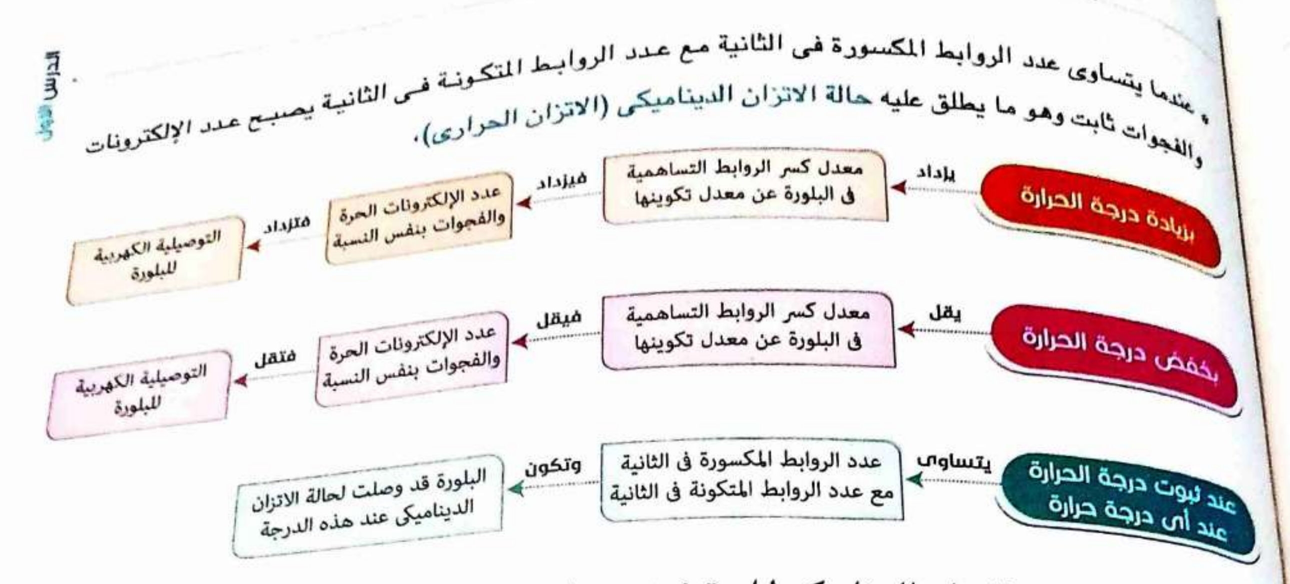
* كل إلكترون يتحرر يترك مكانه فارغًا فى الرابطة المكسورة فيما يُعرف **بالفجوة** وبالتالى يتساوى عدد الإلكترونات الحرة وعدد الفجوات.

> **الفجوة**
> مكان فارغ يتركه الإلكترون فى رابطة مكسورة فى بلورة شبه الموصل ويعتبر شحنة موجبة حيث يعمل كمركز جاذب لإلكترون حر.

* لا يعتبر تحرر الإلكترون وتكون الفجوة تأين للذرة،

لأنه سريعًا ما تقتنص الفجوة إلكترونًا من رابطة مجاورة أو من الإلكترونات الحرة فتعود الذرة متعادلة وتنتقل الفجوة إلى رابطة أخرى ويكون اتجاه حركة الفجوات عكس اتجاه حركة الإلكترونات.

* عندما يتساوى عدد الروابط المكسورة فى الثانية مع عدد الروابط المتكونة فى الثانية يصبح عدد الإلكترونات والفجوات ثابت وهو ما يطلق عليه حالة الاتزان الديناميكى (الاتزان الحرارى).



لذلك يمكن تعريف حالة الاتزان الديناميكى لبلورة شبه موصل نقى كالتالى :

الاتزان الديناميكى (الحرارى) لبلورة شبه موصل نقى

الحالة التى يكون عندها عدد الروابط المكسورة فى الثانية يساوى عدد الروابط المتكونة فى الثانية فى بلورة شبه الموصل ويكون عدد الإلكترونات الحرة والفجوات ثابتًا لكل درجة حرارة.

ملاحظة

* **لا يفضل تسخين شبه الموصل النقى لزيادة توصيليته للتيار الكهربى ،**

لأن زيادة درجة الحرارة بمقدار كبير يؤدى إلى تفكك الشبكة البلورية وكسر الروابط وبالتالى تتحطم البلورة.

* **مما سبق يمكن تعريف شبه الموصل النقى كالتالى :**

شبه الموصل النقى

شبه موصل يكون فيه تركيز الإلكترونات الحرة = تركيز الفجوات عند أى درجة حرارة.

* **مما سبق يمكن تلخيص خصائص بلورة شبه الموصل النقى كالتالى :**

١ إلكترونات **المستويات الداخلية** مرتبطة بقوة جذب كبيرة مع النواة أما إلكترونات **التكافؤ** فى الغلاف الخارجى تربط الذرات المتجاورة بروابط تساهمية يمكن كسر نسبة منها وتحرر إلكترونات وفجوات داخل البلورة.

٢ عند درجات الحرارة المنخفضة (خاصةً عند صفر كلفن) تكون الروابط بين الذرات سليمة **ولا توجد** إلكترونات حرة داخل البلورة فتنعدم التوصيلية الكهربية،
وبالتالى فإن المستوى الأخير لكل ذرة مكتمل بالإلكترونات عند الصفر المطلق.

٣ بارتفاع درجة الحرارة تتكسر بعض الروابط وتتحرر بعض **الإلكترونات** وعندما يترك أى إلكترون مكانه يتواجد فى هذا المكان **فجوة** ولا يُعتبر ذلك تأين للذرة حيث تقتنص الذرة إلكترونًا وتعود إلى حالة التعادل وتنتقل الفجوة إلى رابطة أخرى.

٤ بزيادة ارتفاع درجة الحرارة يزداد عدد الإلكترونات الحرة وعدد الفجوات فتزداد التوصيلية الكهربية.

٥ تتحرك الإلكترونات حركة عشوائية داخل البلورة وتملأ الفجوات التى تنشأ عن كسر الروابط.

٦ فى البلورة الواحدة تكون الطاقة اللازمة لكسر أى رابطة = الطاقة الناتجة عن التئام (تكوُّن) الرابطة سواء كانت هذه الطاقة حرارية أو ضوئية.

٧ عندما تصل البلورة إلى حالة الاتزان الديناميكى يتساوى عدد الروابط المكسورة فى الثانية مع عدد الروابط المتكونة فى الثانية فيصبح عدد الإلكترونات الحرة والفجوات ثابت لكل درجة حرارة.

* **بعد أن تعرفنا على خصائص أشباه الموصلات يمكننا المقارنة بين الموصلات وأشباه الموصلات، كالتالى :**

	الموصلات (المعادن)	أشباه الموصلات
بنية البلورة	تتكون من أيونات موجبة وسحابة من الإلكترونات الحرة التى تتحرك عشوائيًا فى الموصل، وتوجد قوة تجاذب بين الأيونات والإلكترونات	تتكون من ذرات تربطها روابط تساهمية
حاملات الشحنة	الإلكترونات الحرة	الإلكترونات الحرة والفجوات
أثر تغير درجة الحرارة على عدد حاملات الشحنة	لا يتغير عدد الإلكترونات الحرة بتغير درجة الحرارة	يزداد عدد الإلكترونات الحرة وعدد الفجوات بزيادة درجة الحرارة
أثر ارتفاع درجة الحرارة على المقاومة الكهربية	تزداد	تقل
أثر ارتفاع درجة الحرارة على التوصيلية الكهربية	تقل	تزداد

61 اختبر نفسك

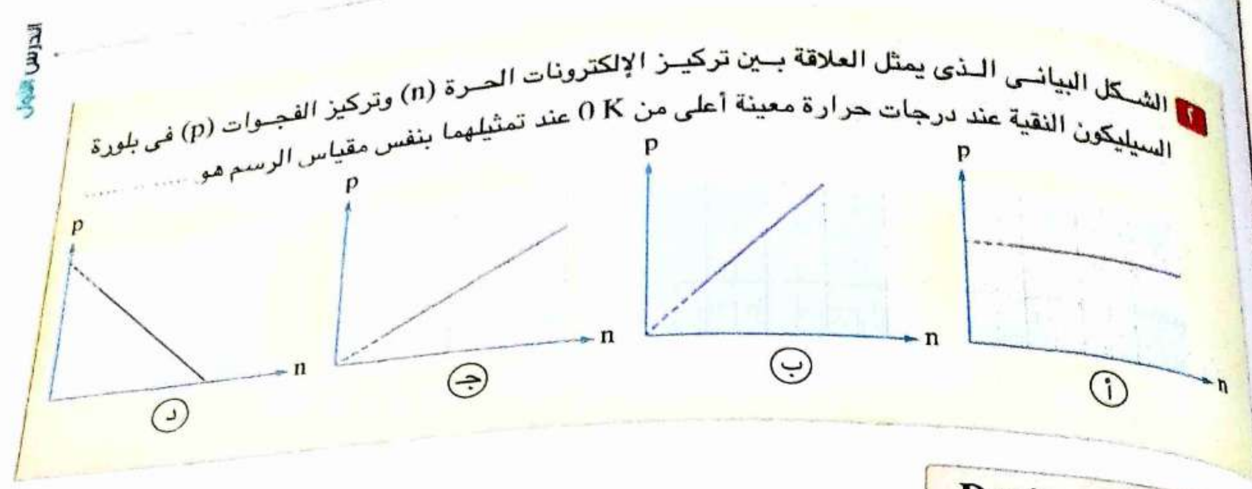
مجاب عنه

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

١ بلورة السيليكون أو الجرمانيوم النقية تصبح عازلة تمامًا عند ....

(أ) 0°C (ب) 273°C (جـ) – 273°C (د) 273 K

٢ الشكل البيانى الذى يمثل العلاقة بين تركيز الإلكترونات الحرة (n) وتركيز الفجوات (p) فى بلورة السيليكون النقية عند درجات حرارة معينة أعلى من 0 K عند تمثيلهما بنفس مقياس الرسم هو ....

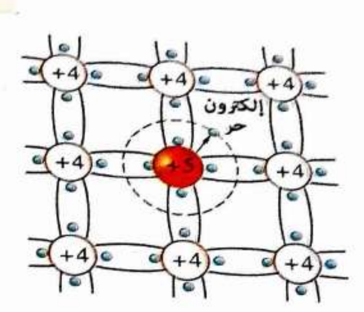
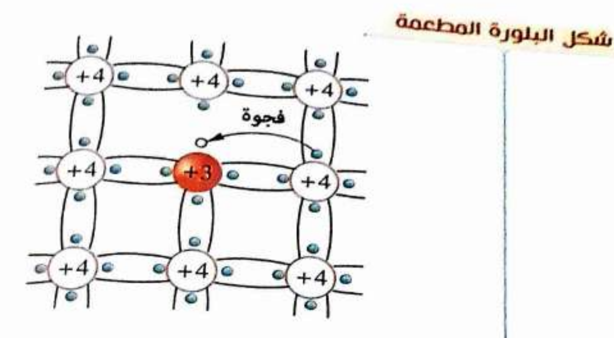


٢ التطعيم Doping

* يمكن زيادة التوصيلية الكهربية لشبه الموصل من خلال إضافة ذرات عناصر خماسية التكافؤ أو ثلاثية التكافؤ تسمى الشوائب، ويطلق على هذه العملية **التطعيم**، وتفضل هذه الطريقة لزيادة التوصيلية الكهربية لشبه الموصل عن رفع درجة الحرارة،

وبالتالى يمكن الحصول على نوعين من أشباه الموصلات غير النقية. هما :

شبه موصل من النوع n (n-type)	شبه موصل من النوع p (p-type)
نوع الذرة الشائبة	
شوائب معطية (مانحة) وهى عبارة عن ذرات من عنصر خماسى التكافؤ (تحتوى على 5 إلكترونات فى المستوى الأخير) مثل الفوسفور (P) والأنتيمون (Sb) وهى تنتمى لعناصر المجموعة الخامسة بالجدول الدورى	شوائب مستقبلة (مكتسبة) وهى عبارة عن ذرات من عنصر ثلاثى التكافؤ (تحتوى على 3 إلكترونات فى المستوى الأخير) مثل الألومنيوم (Al) والبورون (B) وهى تنتمى لعناصر المجموعة الثالثة بالجدول الدورى
عمل الذرة الشائبة	
تشارك ذرة الشائبة بـ 4 إلكترونات فى تكوين أربع روابط مع ذرات السيليكون المجاورة لها، ويبقى إلكترون واحد من إلكترونات التكافؤ يكون ضعيف الارتباط بالنواة فسرعان ما تفقده ويصبح إلكترون حر وتتحول ذرة الشائبة إلى أيون موجب لا يشارك فى عملية التوصيل الكهربى	تشارك ذرة الشائبة بـ 3 إلكترونات فى تكوين ثلاث روابط وبالتالى تصبح هناك رابطة تساهمية غير مكتملة ونتيجة لذلك تتكون فجوة ولكى تصل لحالة الاستقرار (التركيب الثمانى) تكتسب إلكترون من إحدى روابط السيليكون فتظهر فجوة فى رابطة السيليكون وتتحول ذرة الشائبة إلى أيون سالب لا يشارك فى عملية التوصيل الكهربى

	شبه موصل من النوع n	شبه موصل من النوع p
شكل البلورة المطعمة		
نوع حاملات الشحنة السائدة	الإلكترونات الحرة	الفجوات
ذرات الشائبة بعد التطعيم	تصبح أيونات موجبة تركيزها N_D^+	تصبح أيونات سالبة تركيزها N_A^-
فى حالة الاتزان الحرارى	مجموع الشحنة الموجبة = مجموع الشحنة السالبة $n = p + N_D^+$	مجموع الشحنة السالبة = مجموع الشحنة الموجبة $p = n + N_A^-$

(حيث : (n) تركيز الإلكترونات الحرة، (p) تركيز الفجوات، (N_D^+) تركيز أيونات الشائبة المعطية، (N_A^-) تركيز أيونات الشائبة المستقبلة)

أى أن

البلورة متعادلة الشحنة

	شبه موصل من النوع n	شبه موصل من النوع p
العلاقة بين n , p	$n > p$	$p > n$

* **مما سبق يمكن تعريف شبه الموصل من النوع n (n-type) وشبه الموصل من النوع p (p-type) كالتالى:**

شبه موصل من النوع n (n-type)

شبه موصل مُطعم بشوائب من عنصر خماسى التكافؤ، ويكون فيه تركيز الإلكترونات الحرة أكبر من تركيز الفجوات.

شبه موصل من النوع p (p-type)

شبه موصل مُطعم بشوائب من عنصر ثلاثى التكافؤ، ويكون فيه تركيز الفجوات أكبر من تركيز الإلكترونات الحرة.

ملاحظة

- تظل بلورة شبه الموصل المطعمة متعادلة كهربيًا،

لأن عند تطعيم بلورة شبه الموصل بشوائب ثلاثية أو خماسية التكافؤ فإن مجموع عدد الشحنات السالبة يساوى مجموع عدد الشحنات الموجبة دائمًا، حيث إن جميع الذرات سواء ذرات شبه الموصل أو ذرات الشوائب متعادلة.

قانون فعل الكتلة فى أشباه الموصلات

- إذا كان n_i هو تركيز الإلكترونات الحرة أو الفجوات فى بلورة السيليكون النقى، فإن : $np = n_i^2$

قانون فعل الكتلة

حاصل ضرب تركيز الإلكترونات الحرة × تركيز الفجوات = مقدار ثابت لكل درجة حرارة لا يتوقف على نوع الشائبة ويساوى مربع تركيز الإلكترونات الحرة أو الفجوات فى بلورة شبه الموصل النقى عند ثبوت درجة الحرارة.

- من قانون فعل الكتلة يتضح أنه فى حالة :

بلورة n-type	بلورة p-type
$\because n = p + N_D^+$	$\because p = n + N_A^-$
$\because p << N_D^+$	$\because n << N_A^-$
$\therefore n \simeq N_D^+$ (تركيز الإلكترونات الحرة)	$\therefore p \simeq N_A^-$ (تركيز الفجوات)
$\because np = n_i^2$	$\because np = n_i^2$
$\therefore p = \frac{n_i^2}{N_D^+}$ (تركيز الفجوات)	$\therefore n = \frac{n_i^2}{N_A^-}$ (تركيز الإلكترونات الحرة)

مثال

بلورة سيليكون نقية تركيز الإلكترونات الحرة أو الفجوات بها $10^{10}\ cm^{-3}$ أضيف إليها ألومنيوم بتركيز $10^{12}\ cm^{-3}$:

(أ) **ما** نوع بلورة السيليكون الناتجة ؟

(ب) **احسب** تركيز الإلكترونات الحرة والفجوات فى هذه الحالة.

(جـ) **احسب** تركيز الأنتيمون اللازم إضافته إلى السيليكون حتى تعود البلورة إلى حالتها الأولى مرة أخرى (كما لو كانت نقية).

الحـــل

$n_i = 10^{10}\ cm^{-3}$ | $N_A^- = 10^{12}\ cm^{-3}$ | $n = ?$ | $p = ?$ | $N_D^+ = ?$

(أ) بلورة p-type لأن الشائبة المضافة ثلاثية التكافؤ.

(ب)

$$n = \frac{n_i^2}{N_A} = \frac{(10^{10})^2}{10^{12}} = 10^8\ cm^{-3}$$

$$p = N_A = 10^{12}\ cm^{-3}$$

(جـ) يضاف أنتيمون بنفس تركيز الألومنيوم لتعود البلورة إلى حالتها الأولى مرة أخرى (كما لو كانت نقية).

$$N_D^+ = 10^{12}\ cm^{-3}$$

62 اختبر نفسك

مجاب عنها

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

إذا كان تركيز الإلكترونات الحرة فى بلورة الجرمانيوم النقية هو $10^{10}\ cm^{-3}$ وتركيزها فى البلورة بعد إضافة شوائب من ذرات مانحة هو $10^{12}\ cm^{-3}$، فإن تركيز الفجوات فى البلورة المطعمة ....

(أ) $10^8\ cm^{-3}$ والبلورة من النوع n-type
(ب) $10^8\ cm^{-3}$ والبلورة من النوع p-type
(جـ) $10^{12}\ cm^{-3}$ والبلورة من النوع p-type
(د) $10^{12}\ cm^{-3}$ والبلورة من النوع n-type

المكونات والنبائط الإلكترونية Electronic Components and Devices

* تصنع أغلب النبائط الإلكترونية من أشباه الموصلات غير النقية والتى تتميز بحساسيتها لعوامل البيئة المحيطة مثل : الضوء، الحرارة، الضغط، التلوث بالإشعاع الذرى والتلوث الكيميائى، لذلك تستخدم هذه النبائط كمحسات sensors (وسائل قياس) لهذه العوامل.

المكونات والنبائط الإلكترونية
وحدات بناء الأنظمة الإلكترونية.

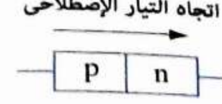
* **أنواع النبائط (المكونات) الإلكترونية :**

1. **مكونات بسيطة** : مثل المقاومة (R) وملف الحث (L) والمكثف الكهربى (C).
2. **مكونات أكثر تعقيدًا** : مثل الوصلة الثنائية (الدايود) والترانزستور.
3. **مكونات متخصصة** : مثل النبائط الكهروضوئية ونبائط التحكم فى شدة التيار.

الوصلة الثنائية (الدايود) pn Junction

التركيب

بلورة شبه موصل تحتوى على جزئين أحدهما من النوع n والآخر من النوع p



الرمز فى الدائرة الكهربية

(كاثود (n)) ——|◁—— (آنود (p))

شرح العمل

١ فى المنطقة p يكون تركيز الفجوات (p) أكبر بكثير من تركيز الإلكترونات الحرة (n) أما فى المنطقة n يكون تركيز الإلكترونات الحرة (n) أكبر بكثير من تركيز الفجوات (p).

٢ عند تكون الوصلة الثنائية يحدث انتشار لكل من الفجوات (p) والإلكترونات الحرة (n) من المنطقة الأعلى فى التركيز إلى المنطقة الأقل فى التركيز حيث تنتشر الفجوات من المنطقة p إلى المنطقة n كما تنتشر الإلكترونات الحرة من المنطقة n إلى المنطقة p وينتج عن ذلك ما يسمى **بتيار الانتشار**.

تيار الانتشار

التيار الناتج عن انتشار الفجوات من المنطقة p إلى المنطقة n وانتشار الإلكترونات الحرة من المنطقة n إلى المنطقة p

٣ هجرة الإلكترونات الحرة من منطقة n-type من شأنه أن يكشف جزءًا من الأيونات الموجبة دون غطاء يعادلها من الإلكترونات، وكذلك فإن هجرة الفجوات من منطقة p-type من شأنه كشف جزء من الأيونات السالبة دون غطاء يعادلها من الفجوات، فينشأ على جانبى موضع تماس المنطقتين منطقة خالية من الفجوات والإلكترونات الحرة ويتواجد بها أيونات موجبة جهة المنطقة n وأيونات سالبة جهة المنطقة p وتسمى المنطقة على جانبى موضع التماس **بالمنطقة القاحلة**.

المنطقة القاحلة (الفاصلة)

منطقة خالية من حاملات الشحنة توجد على جانبى موضع تماس المنطقة n والمنطقة p فى الوصلة الثنائية.

جهدًا سالبًا بسبب

٤ تكتسب المنطقة n جهدًا موجبًا بسبب فقدها بعض إلكتروناتها كما تكتسب المنطقة p جهدًا سالبًا بسبب انتقال الإلكترونات إليها، ويتولد مجال كهربى داخلى يكون اتجاهه من المنطقة n (الجهد الموجب) إلى المنطقة p (الجهد السالب) يتسبب فى تولد تيار يسمى **بتيار الانسياب** (الذى يعتبر تيار خلفى) ويكون عكس اتجاه تيار الانتشار (الذى يعتبر تيار أمامى).

تيار الانسياب

التيار الناتج عن المجال الكهربى الداخلى المتكون بين الأيونات الموجبة جهة n والأيونات السالبة جهة p على جانبى موضع التماس وهو عكس تيار الانتشار.

٥ باستمرار انتقال الإلكترونات الحرة والفجوات من التركيز الأعلى إلى التركيز الأقل يقل تيار الانتشار لزيادة فرق الجهد بين المنطقتين حتى يصل لقيمة تمنع انتقال مزيد من الإلكترونات الحرة من n إلى p ويصبح تيار الانتشار = تيار الانسياب، ويطلق على فرق الجهد فى هذه الحالة **الجهد الحاجز للوصلة الثنائية**، ويعتمد على نوع مادة شبه الموصل المستخدمة ودرجة حرارتها ونسبة التطعيم.

الجهد الحاجز للوصلة الثنائية

أقل فرق جهد داخلى على جانبى موضع تماس المنطقتين p ، n يكفى لمنع انتشار مزيد من الفجوات والإلكترونات الحرة إلى المنطقة الأقل تركيز لهما.

* يمكن تلخيص شرح عمل الوصلة الثنائية بالرسم التالى :

منطقة p — سطح الوصلة — منطقة n

إلكترون حر — فجوة — فجوة — إلكترون حر

منطقة p: حاملات الشحنة السائدة هى الفجوات

منطقة n: حاملات الشحنة السائدة هى الإلكترونات الحرة

تيار الانتشار بسبب اختلاف تركيز حاملات الشحنة السائدة بين المنطقتين

يقل جهد المنطقة p (يصبح جهدها سالبًا)

أيون سالب

تنكشف بعض الأيونات السالبة فى منطقة التماس مع المنطقة n

يقل تيار الانتشار مع زيادة فرق الجهد بين المنطقتين

أيون موجب

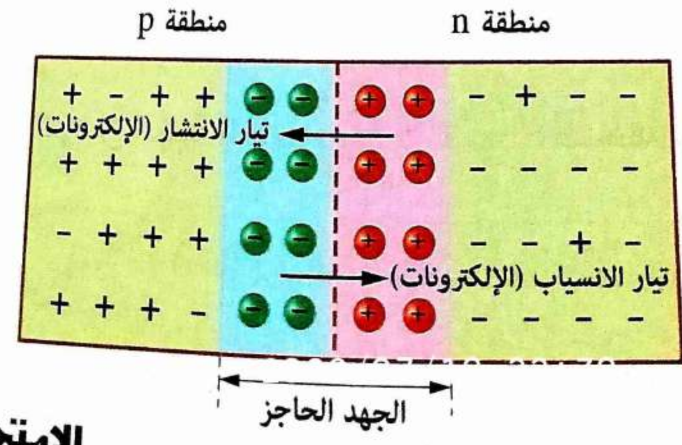
يزداد جهد المنطقة n (يصبح جهدها موجبًا)

تنكشف بعض الأيونات الموجبة فى منطقة التماس مع المنطقة p

منطقة p — منطقة n

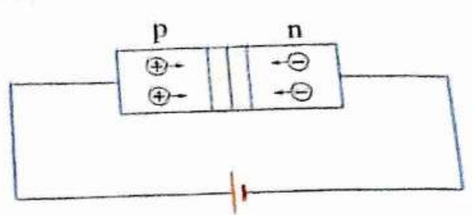
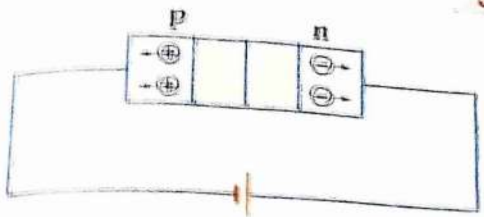
جهد سالب — المنطقة القاحلة — جهد موجب

يتكون مجال كهربى داخلى اتجاهه من المنطقة n إلى المنطقة p
وتتكون منطقة خالية من حاملات الشحنة تسمى المنطقة الفاصلة (القاحلة)



توصيل الوصلة الثنائية

- توصل الوصلة الثنائية في الدائرة الكهربية بطريقتين :

التوصيل (الانحياز) الأمامي	التوصيل (الانحياز) العكسي (الخلفي)
طريقة التوصيل	
	
توصل المنطقة (p-type) بالقطب الموجب للبطارية والمنطقة (n-type) بالقطب السالب للبطارية	توصل المنطقة (p-type) بالقطب السالب للبطارية والمنطقة (n-type) بالقطب الموجب للبطارية
سُمك المنطقة الفاصلة	
يقل (حيث تتنافر الفجوات والإلكترونات الحرة مع قطبى البطارية وتقترب من السطح الفاصل)	يزداد (حيث تتجاذب الفجوات والإلكترونات الحرة مع قطبي البطارية وتبتعد عن السطح الفاصل)
أثر فرق الجهد الخارجى على الوصلة	
يكون اتجاه المجال الخارجى (الناشئ عن البطارية) عكس اتجاه المجال الداخلى فى المنطقة الفاصلة فيضعفه	يكون اتجاه المجال الخارجى (الناشئ عن البطارية) فى نفس اتجاه المجال الداخلى فى المنطقة الفاصلة فيقويه
جهد الوصلة الثنائية	
يقل عن الجهد الحاجز	يزداد عن الجهد الحاجز
مقاومة الوصلة (R)	
صغيرة	كبيرة
شدة التيار المار (I)	
كبيرة إذا كان الجهد الخارجى أكبر من الجهد الحاجز	ضعيفة جدًا تكاد تكون منعدمة

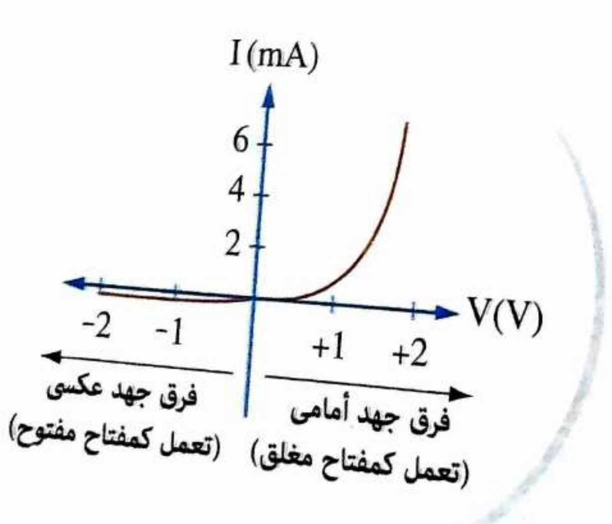
استخدام الوصلة الثنائية

١ كمفتاح

* عند توصيل الوصلة الثنائية توصيلاً :

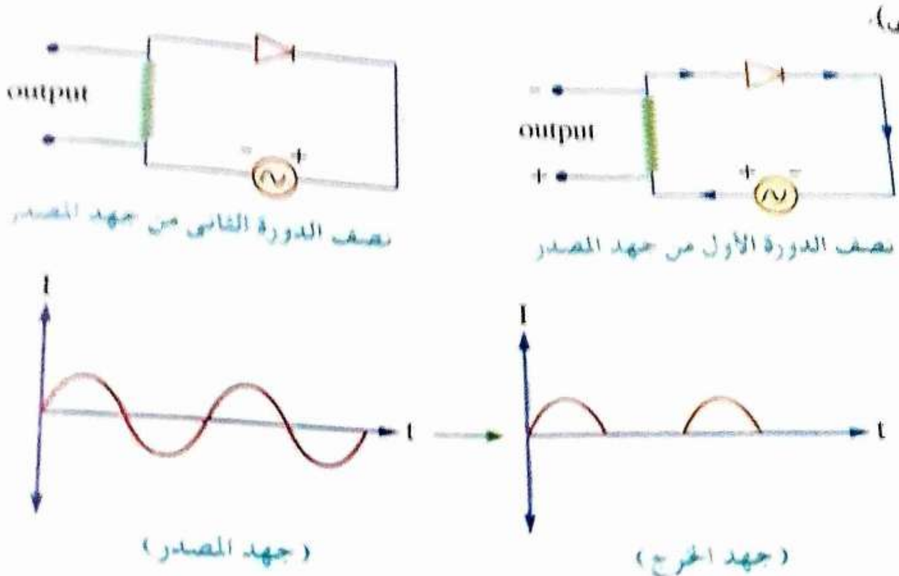
أماميًـــا (بجهد أكبر من قيمة الجهد الحاجز)	عكسيًـــا
فإنها	
تسمح بمرور التيار الكهربى فى الدائرة	لا تسمح بمرور التيار الكهربى فى الدائرة
أى تعمل كمفتاح	
مغلق	مفتوح
تكافئ	تكافئ

* التمثيل البيانى للعلاقة بين شدة التيار وفرق الجهد فى الوصلة الثنائية فى حالتى التوصيل الأمامى والخلفى :



٢ تقويم التيار المتردد

- تستخدم الوصلة الثنائية في تقويم التيار المتردد تقويم نصف موجي؛ لأن الوصلة الثنائية تسمح بمرور التيار في نصف موجة الجهد المتردد (في حالة التوصيل الأمامي) ولا تسمح بمروره في النصف الآخر (في حالة التوصيل العكسي) وبذلك يكون الجهد الناتج موحد الاتجاه (مقوم تقويم نصف موجي).



- يمكن تقويم التيار المتردد (AC) وتحويله إلى تيار مستمر (DC) باستخدام عدة وصلات ثنائية.

ملاحظة

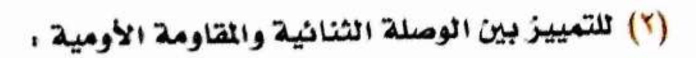
* يمكن استخدام الأوميتر :

(١) للتأكد من سلامة الوصلة الثنائية :

حيث تكون مقاومتها صغيرة جدًا في اتجاه وكبيرة جدًا في الاتجاه العكسي إذا كانت سليمة.



توصيل أمامي



(٢) للتمييز بين الوصلة الثنائية والمقاومة الأومية :

- **في حالة الوصلة الثنائية :** قراءة الأوميتر كبيرة جدًا في اتجاه معين (توصيل عكسي) وصغيرة جدًا في الاتجاه العكسي (توصيل أمامي).

- **في حالة المقاومة الأومية :** قراءة الأوميتر لا تتغير إذا انعكس اتجاه التيار.



توصيل خلفي

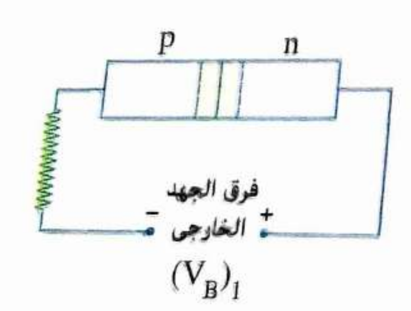
* مما سبق يمكن المقارنة بين الوصلة الثنائية والمقاومة الأومية كالتالى :

	الوصلة الثنائية	المقاومة الأومية (العادية)
التكوين	بلورة شبه موصل تحتوى على جزئين أحدهما من النوع n والآخر من النوع p	ملف من سلك لمادة ذات مقاومة نوعية مناسبة
حاملات الشحنة	الإلكترونات الحرة والفجوات	الإلكترونات الحرة
اتجاه التيار المار	يمكن أن يمر التيار فى اتجاه واحد ولا يمر فى الاتجاه العكسى	يمكن أن يمر التيار خلالها فى الاتجاهين
أثر ارتفاع درجة الحرارة	تزداد التوصيلية الكهربية وتقل المقاومة الكهربية	تقل التوصيلية الكهربية وتزداد المقاومة الكهربية
التوصيل بأوميتر	تكون قراءته كبيرة جدًا عند توصيلها فى اتجاه معين (التوصيل الخلفى) وصغيرة جدًا عند توصيلها فى الاتجاه المعاكس (التوصيل الأمامى)	لا تتغير قراءته عند عكس طريقة توصيلها مع الأوميتر

معلومـة إثرائية

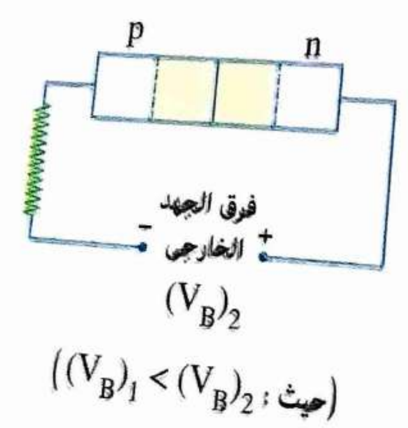
التوليف الإلكترونى Electronic Tuning

* لضبط جهاز الراديو أو التليفزيون على محطة معينة نحتاج ضبط قيمة سعة مكثف أو معامل الحث الذاتى لملف حث لتعطى الدائرة تردد يساوى تردد المحطة المطلوب الاستماع إليها أو مشاهدتها، وهو ما يسمى بالرنين.



$(V_B)_1$

* فى الأجهزة الحديثة يتم تغيير سعة المكثف باستخدام خواص الدايود فى حالة وجود جهد عكسى، إذ يزداد عرض المنطقة الفاصلة كلما زاد الجهد العكسى ولأن زيادة هذا العرض تعنى زيادة الشحنات أى الأيونات فيشبه هذا التغير فى الشحنة مع فرق الجهد ما يحدث على طرفى المكثف.



$(V_B)_2$

(حيث : $(V_B)_1 < (V_B)_2$)

أى أن الدايود فى الاتجاه العكسى يكافئ مكثفًا يمكن تغيير سعته حسب فرق الجهد العكسى عليه وهذا ما يطلق عليه **التوليف الإلكترونى**.

مجاب عنها

63 اختبـر نفسك

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

١ يرجع وجود مقاومة كهربية كبيرة للمنطقة القاحلة فى الوصلة الثنائية إلى ....

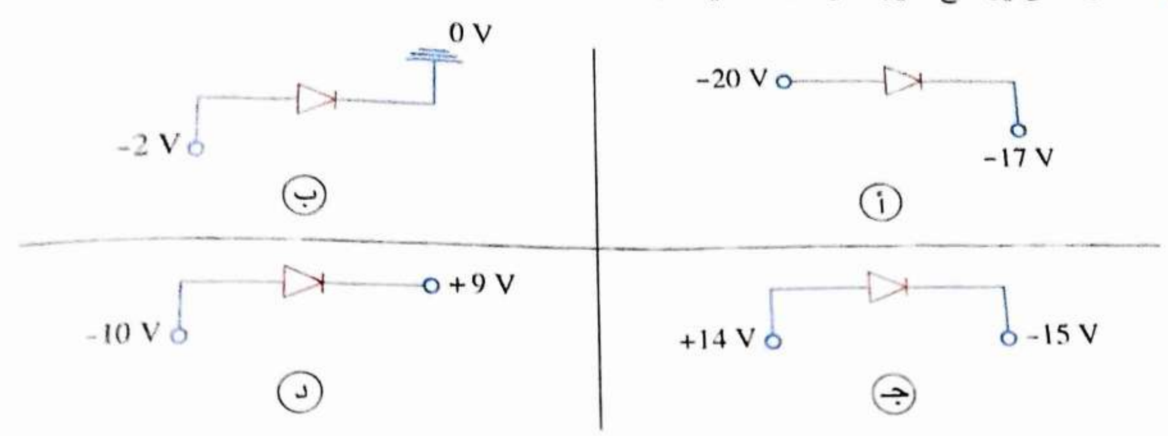
(أ) عدم احتوائها على حاملات شحنة حرة الحركة

(ب) احتوائها على عدد كبير من حاملات الشحنة

(جـ) احتوائها على إلكترونات حرة فقط

(د) احتوائها على فجوات فقط

٢ الشكل الذى يوضح دايود موصل أماميًا هو ....

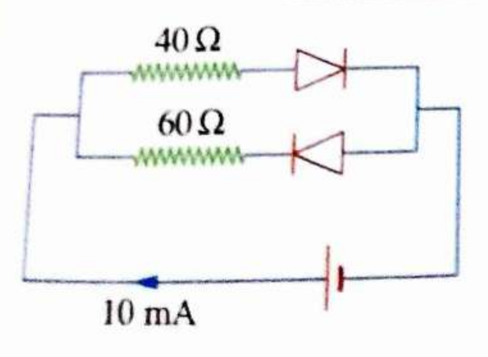


٣ إذا كانت مقاومة الوصلة الثنائية مهملة فى حالة التوصيل الأمامى ومالانهاية فى حالة التوصيل العكسى، فإنه فى الدائرة المقابلة عند غلق المفتاح K فإن إضاءة المصباح ....

(أ) تزداد (ب) تقل

(جـ) لا تتغير (د) لا يمكن تحديد الإجابة

٤ الشكل المقابل يبين وصلتين ثنائيتين متصلتين مع مقاومتين 40 Ω ، 60 Ω وعمود كهربى مقاومته الداخلية مهملة كما بالشكل، فإذا كانت شدة التيار المار فى الدائرة 10 mA فإن شدة التيار المار فى المقاومتين 40 Ω ، 60 Ω على الترتيب هى ....



(أ) 6 mA ، 4 mA (ب) 4 mA ، 6 mA

(جـ) 0 ، 10 mA (د) 10 mA ، 0



فى هذا الدرس سوف نتعرف :

- الترانزستور.
- الإلكترونيات التناظرية والرقمية.
- البوابات المنطقية.

الترانزستور Translator

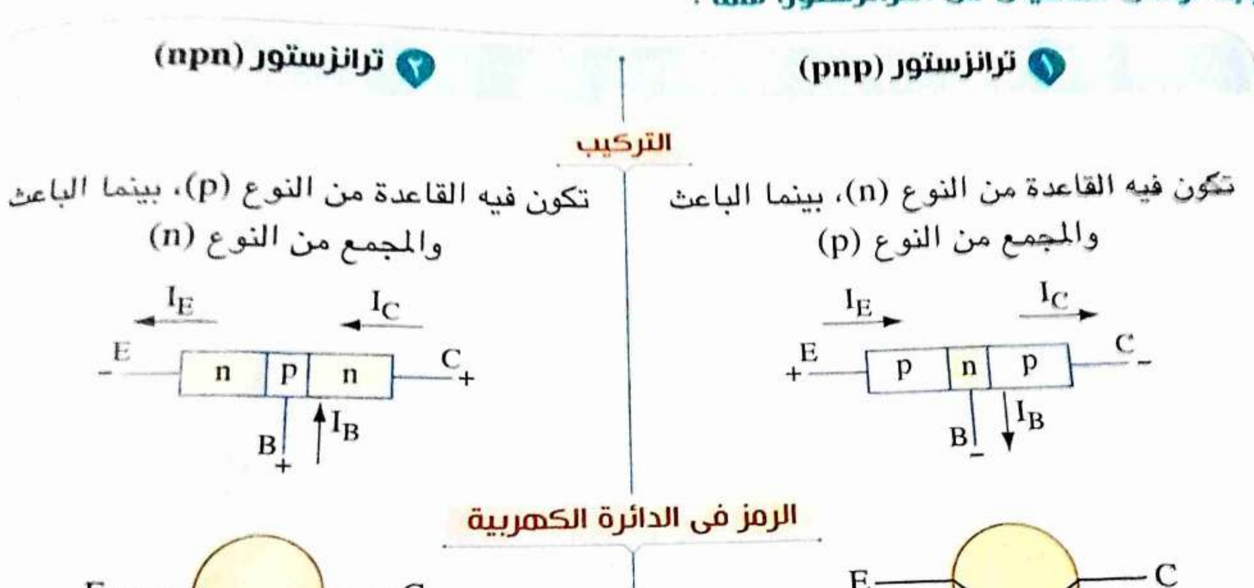
التركيب

بلورة شبه موصل تتكون من ثلاث مناطق متجاورة مطعمة (غير نقية)، هي :

- المنطقة الأولى تسمى الباعث (E) :
  عبارة عن منطقة متوسطة الحجم بها نسبة عالية من الشوائب.
- المنطقة الوسطى تسمى القاعدة (B) :
  عبارة عن منطقة سُمكها صغير الغاية (رقيقة جدًا) بها نسبـة قليلـة من الشوائب.
- المنطقة الأخيرة تسمى المجمع (C) :
  عبارة عن منطقة كبيرة الحجم نسبيًا بها نسبة شوائب أقل من الباعث.

الأنواع

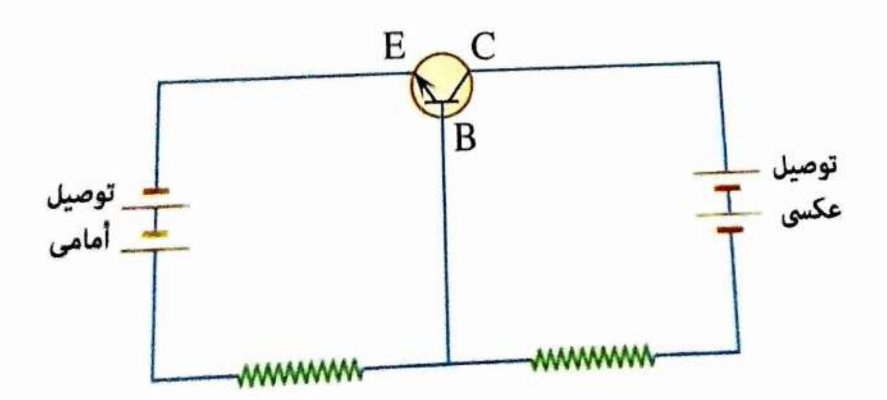
• يوجد نوعان أساسيان من الترانزستور، هما :



* يوجد طريقتان لتوصيل الترانزستور فى الدائرة الكهربية :

١ توصيل الترانزستور (npn) والقاعدة مشتركة

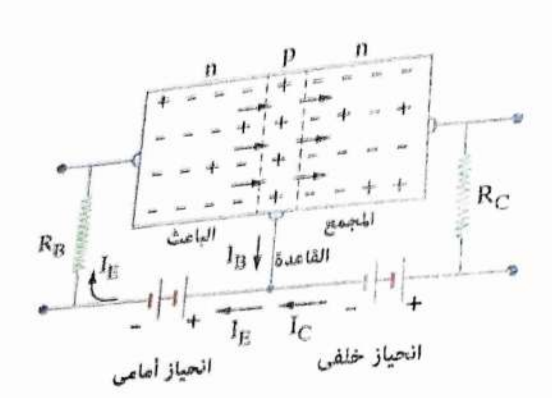
شكل الدائرة



طريقة التوصيل فى الدائرة الكهربية

- يوصل الباعث (E) مع القاعدة (B) توصيلًا أماميًا.
- يوصل المجمع (C) مع القاعدة (B) توصيلًا عكسيًا.

شرح العمل



- تنطلق الإلكترونات الحرة من الباعث (n-type) إلى القاعدة (p-type) حيث تنتشر فيها بعض الوقت إلى أن يقتنصها المجمع (n-type).
- أثناء انتشار الإلكترونات الحرة داخل القاعدة (p-type) تُستهلك نسبة صغيرة جدًا منها فى ملء الفجوات لتحدث عملية الالتئام نظرًا لأن عرض القاعدة صغير للغاية وبها نسبة قليلة من الشوائب وبالتالى يكون دائمًا تيار المجمع (I_C) أقل قليلًا من تيار الباعث (I_E)، حيث :

$$I_E = I_C + I_B$$

الاستخدام

يستخدم الترانزستور عند توصيله فى دائرة القاعدة المشتركة فى تكبير القدرة الكهربية ولا يمكن استخدامه لتكبير التيار الكهربى نظرًا لأن تيار المجمع يكون أقل قليلًا من تيار الباعث.

نسبة التوزيع (α_e)

- يطلق على النسبة بين تيار المجمع وتيار الباعث **نسبة التوزيع** وتعطى من العلاقة :

$$\alpha_e = \frac{I_C}{I_E}$$

- تقترب قيمة α_e من الواحد الصحيح،

لأن $I_C \simeq I_E$ حيث إن قيمة I_B صغيرة جدًا فتصبح قيمة α_e قريبة من الواحد الصحيح،

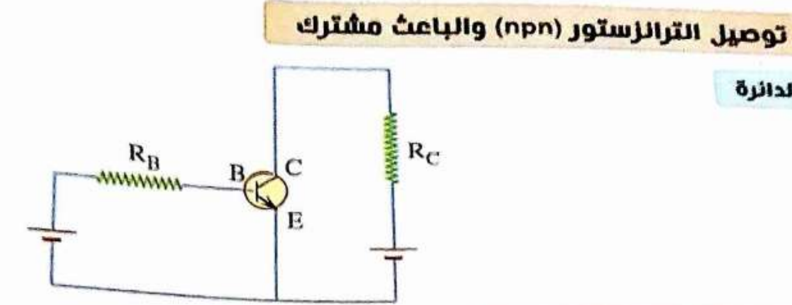
وبالتالى يمكن تعريف نسبة التوزيع كما يلى :

نسبة (ثابت) التوزيع (α_e)

نسبة تيار المجمع إلى تيار الباعث عند ثبوت فرق الجهد بين القاعدة والمجمع.

٢ توصيل الترانزستور (npn) والباعث مشترك

شكل الدائرة



طريقة التوصيل فى الدائرة الكهربية

- يوصل الباعث (E) مع القاعدة (B) توصيلًا أماميًا.
- يوصل الباعث (E) مع المجمع (C) بحيث يوصل الباعث بالقطب السالب والمجمع بالقطب الموجب.

شرح العمل

- تتنافر إلكترونات الباعث (n-type) مع القطب السالب للعمودين ليتجمع تيارى الإلكترونات عند الباعث ويتحرك تجاه المجمع.
- إذا وضعت إشارة كهربية صغيرة فى تيار القاعدة فإن تأثيرها يظهر مكبرًا فى تيار المجمع.

نسبة التكبير (β_e)

يطلق على نسبة تيار المجمع إلى تيار القاعدة نسبة التكبير وتعطى من العلاقة :

$$\beta_e = \frac{I_C}{I_B}$$

وبالتالى يمكن تعريف نسبة التكبير كالتالى :

نسبة التكبير (β_e)

نسبة تيار المجمع إلى تيار القاعدة عند ثبوت فرق الجهد بين الباعث والمجمع.

حساب نسبة التكبير بدلالة ثابت التوزيع

$$\because \alpha_e = \frac{I_C}{I_E}$$

$$\therefore I_C = \alpha_e I_E \quad (1)$$

$$\because I_B = I_E - I_C$$

$$\therefore I_B = I_E - \alpha_e I_E \quad (2)$$

$$\because \beta_e = \frac{I_C}{I_B}$$

بالتعويض بقيمة I_C ، I_B من المعادلتين (1) ، (2) :

$$\therefore \beta_e = \frac{\alpha_e I_E}{I_E - \alpha_e I_E} = \frac{\alpha_e I_E}{I_E (1 - \alpha_e)}$$

$$\therefore \beta_e = \frac{\alpha_e}{1 - \alpha_e}$$

ملاحظة

* يمكن حساب نسبة التوزيع بدلالة نسبة التكبير من العلاقة :

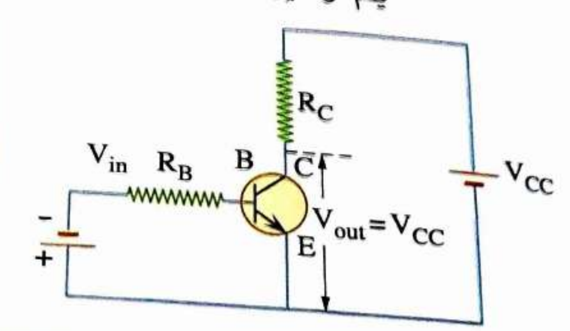
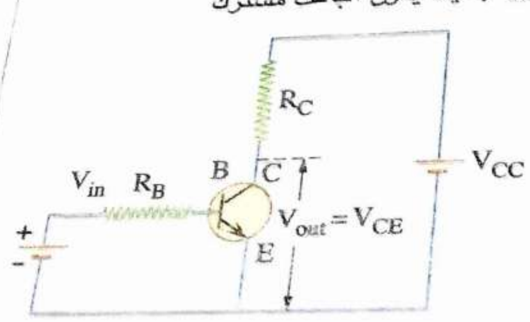
$$\alpha_e = \frac{\beta_e}{1+\beta_e}$$

الاستخدام

1 يستخدم كمكبر :

تعتمد فكرة عمل الترانزستور فى دائرة الباعث المشترك كمكبر على أنه إذا وضعت إشارة كهربية صغيرة فى تيار القاعدة الصغير يظهر تأثيرها مكبرًا فى تيار المجمع وهذا ما يسمى فعل الترانزستور.

2 يستخدم كمفتاح :

الترانزستور فى حالة off (مفتاح مفتوح)	الترانزستور فى حالة on (مفتاح مغلق)
طريقة التوصيل	
يتم توصيل الترانزستور فى الدائرة الكهربية بحيث يكون الباعث مشترك	
	
الأساس العلمى	
يكون : $V_{CC} = V_{CE} + I_C R_C$ (حيث : (V_{CC}) جهد العمود، (V_{CE}) فرق الجهد بين المجمع والباعث، (I_C) تيار المجمع، (R_C) مقاومة دائرة المجمع) فإذا اعتبرنا أن جهد القاعدة هو الدخل (input) وجهد المجمع هو الخرج (output)، فإنه	
عند توصيل القاعدة (B) بجهد صفرى أو سالب أو موجب صغير (V_{in}) تقل قيمة I_C فتقل قيمة $I_C R_C$ فيحدث زيادة لقيمة V_{CE} ليقترب من قيمة V_{CC} أى يكون جهد الخرج كبيرًا	عند توصيل القاعدة (B) بجهد موجب كبير (V_{in}) يمر تيار (I_C) كبير فى دائرة المجمع فتصبح قيمة $I_C R_C$ كبيرة ويحدث نقص لقيمة V_{CE} أى يكون جهد الخرج صغيرًا

* مما سبق نجد أن الترانزستور يعمل كعاكس أى أنه عندما يكون جهد الدخل (جهد القاعدة) V_{in} للترانزستور صغيرًا يصبح جهد الخرج (جهد المجمع) V_{out} كبيراً والعكس.

V_{out} — V_{in}

ملاحظة
* يمكن الاستدلال على قطبية الترانزستور باستخدام الأوميتر.

مثال ١

إذا كان تيار المجمع فى الترانزستور 100 mA عندما كان تيار القاعدة 1 mA، احسب :
(أ) نسبة التكبير (β_e). (ب) نسبة التوزيع (α_e). (جـ) تيار الباعث (I_E).

الحل

$I_C = 100$ mA | $I_B = 1$ mA | $\beta_e = ?$ | $\alpha_e = ?$ | $I_E = ?$

(أ)
$$\beta_e = \frac{I_C}{I_B} = \frac{100}{1} = 100$$

(ب)
$$\alpha_e = \frac{\beta_e}{1+\beta_e} = \frac{100}{1+100} = 0.99$$

(جـ)
$$I_E = I_C + I_B = 100 + 1 = 101 \text{ mA}$$

حل آخر
$$\alpha_e = \frac{I_C}{I_E}$$
$$I_E = \frac{I_C}{\alpha_e} = \frac{100}{0.99} = 101 \text{ mA}$$

مثال ٢

احسب قيمة تيار المجمع (I_C) فى دائرة الترانزستور كمفتاح فى حالة التوصيل on عندما يكون جهد المصدر 1.5 V وفرق الجهد بين المجمع والباعث 0.5 V وقيمة المقاومة المتصلة بالمجمع 500 Ω

الحل

$V_{CC} = 1.5$ V | $V_{CE} = 0.5$ V | $R_C = 500\ \Omega$ | $I_C = ?$

$$V_{CC} = V_{CE} + I_C R_C$$
$$1.5 = 0.5 + (I_C \times 500)$$
$$I_C = 0.002 \text{ A}$$

اختبر نفسك

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

مجاب عنها

1 فى ترانزستور pnp تكون حاملات الشحنة السائدة فى كل من الباعث والمجمع عبارة عن ....

(أ) أيونات سالبة (ب) أيونات موجبة (ج) إلكترونات حرة (د) فجوات

2 إذا كانت نسبة التكبير فى ترانزستور 24 وتيار الباعث 0.01 A، فإن تيار القاعدة يساوى ....

(أ) 2×10^{-4} A (ب) 4×10^{-4} A (ج) 4×10^{-6} A (د) 5×10^{-6} A

الإلكترونيات التناظرية والرقمية Analog and Digital Electronics

* توجد طريقتان للتعامل مع الجهد الداخل والخارج من الدائرة الكهربية، هما :

أولاً الإلكترونيات التناظرية

* هى إلكترونيات تتعامل مع الكميات الطبيعية كما هى حيث تحولها إلى إشارات كهربية متصلة.

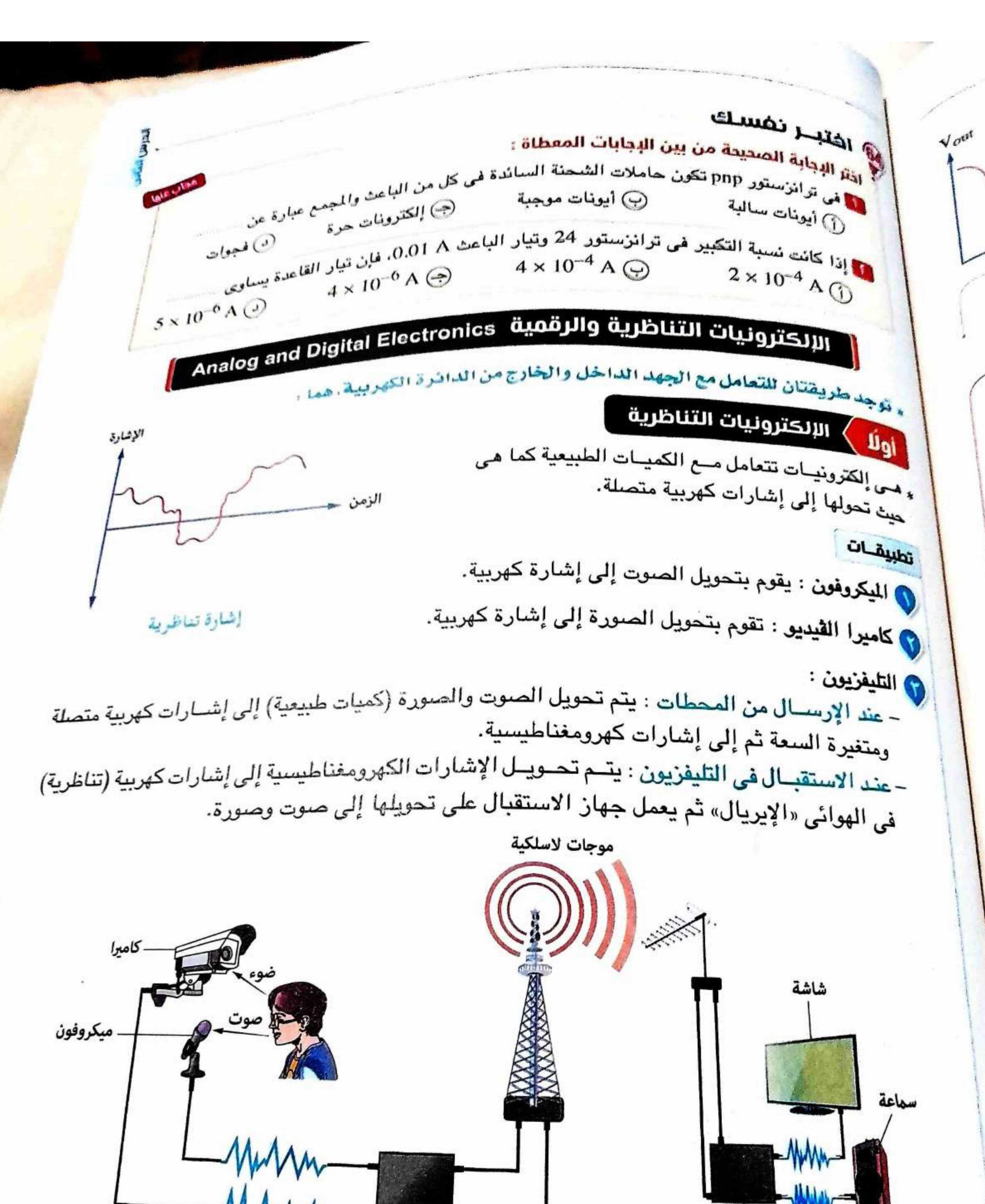
الإشارة

الزمن

إشارة تناظرية

تطبيقات

1. **الميكروفون** : يقوم بتحويل الصوت إلى إشارة كهربية.
2. **كاميرا الفيديو** : تقوم بتحويل الصورة إلى إشارة كهربية.
3. **التليفزيون** :
   - **عند الإرسال من المحطات** : يتم تحويل الصوت والصورة (كميات طبيعية) إلى إشارات كهربية متصلة ومتغيرة السعة ثم إلى إشارات كهرومغناطيسية.
   - **عند الاستقبال فى التليفزيون** : يتم تحويل الإشارات الكهرومغناطيسية إلى إشارات كهربية (تناظرية) فى الهوائى «الإيريال» ثم يعمل جهاز الاستقبال على تحويلها إلى صوت وصورة.



الضوضاء الكهربية (التشويش)

تؤثر على الإشارة التناظرية حيث تتداخل الضوضاء الكهربية مع الإشارة التناظرية التي تحمل المعلومات وتشوشها لذلك نجد عيوب في الصوت والصورة في أجهزة الاستقبال التناظرية.

ملاحظة

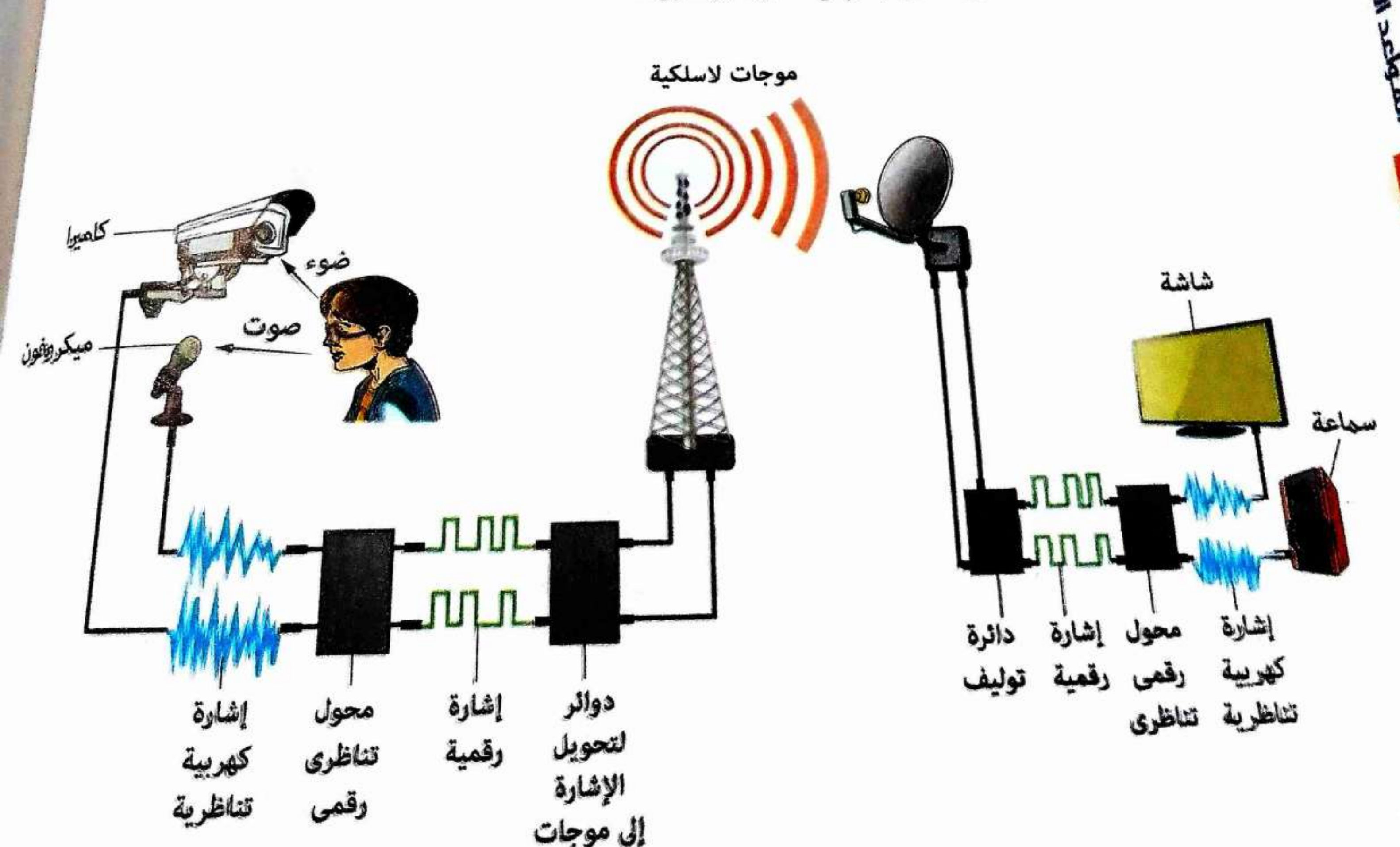
* **الضوضاء الكهربية (التشويش) :**
هي إشارات كهربية غير منتظمة مصدرها الحركة العشوائية للإلكترونات الحرة في الهواء والتي تسبب تيارًا عشوائيًا عند التقاطها بهوائي الاستقبال مما يسبب تشويشًا للصوت والصورة.

ثانيًا الإلكترونيات الرقمية

* هي إلكترونيات تتعامل مع الكميات الطبيعية بعد تحويلها إلى شفرة غير متصلة أساسها قيمتان فقط هما (0 ، 1).

- **عند الإرسال** : بعد تحويل الكميات الطبيعية (الصوت أو الصورة) إلى إشارة كهربية تناظرية يتم تحويل كل الإشارات الكهربية المتصلة (التناظرية) إلى إشارات رقمية عن طريق محول تناظرى رقمى.

- **عند الاستقبال** : يتم تحويل الإشارات الرقمية إلى إشارات كهربية تناظرية عن طريق محول رقمى تناظرى ثم يعمل جهاز الاستقبال على تحويلها إلى صوت وصورة.



تطبيقات

1. التليفون المحمول.
2. القنوات الفضائية الرقمية.
3. أقراص الليزر المدمجة (CDs).
4. **أجهزة الكمبيوتر :**
   - كل ما يدخل للكمبيوتر من حروف أو أرقام يتحول إلى شفرة ثنائية (1 , 0).
   - تتجزأ الصور إلى عناصر صغيرة تسمى Pixels ثم تحول أيضًا إلى شفرة ثنائية (0 , 1).
   - تتم جميع العمليات الحسابية على أساس الجبر الثنائى.
   - يتم تخزين المعلومات فى الذاكرة المؤقتة (RAM) أو الذاكرة المستديمة (Hard Disk) على شكل مغنطة فى اتجاه معين مما يعنى 0 أو مغنطة فى الاتجاه المضاد مما يعنى 1

الضوضاء الكهربية (التشويش)

لا تؤثر على الإشارة الرقمية الحاملة للمعلومات حيث إن المعلومة تكمن فى الكود 0 أو 1 وليس فى قيمة الإشارة التى قد تتداخل معها الضوضاء وتشوشها لذلك نجد أن الصورة والصوت نقيان عند استخدام أجهزة الاستقبال الرقمية.

* مما سبق نستنتج أنه يفضل استخدام الإلكترونيات الرقمية عن الإلكترونيات التناظرية فى الأجهزة الإلكترونية أو فى الإرسال والاستقبال الإذاعى والتلفزيونى.

التحويل بين النظام العشرى والنظام الثنائى

1 تحويل العدد العشرى إلى كود رقمى (عدد ثنائى)

* **لتحويل العدد العشرى إلى كود رقمى (عدد ثنائى) :**

1. اقسم العدد العشرى على 2، فإذا :
   - كان للعدد الصحيح الناتج باقى ضع 1 فى خانة الباقى.
   - لم يكن للعدد الصحيح الناتج باقى ضع 0 فى خانة الباقى.
2. اقسم الناتج على 2 وهكذا حتى يصبح الناتج أقل من 1 فنضع :
   - 0 فى خانة الناتج.
   - 1 فى خانة الباقى.
3. اكتب الأرقام الموجودة فى خانة الباقى بالترتيب داخل القوسين : $(\quad)_2$

مثال

أوجد الكود الرقمى للعدد العشرى 19

الحل

$\frac{\text{العدد العشرى}}{2}$	$\frac{19}{2}$	$\frac{9}{2}$	$\frac{4}{2}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{1}{2}$
الناتج	9	4	2	1	0
الباقى	1	1	0	0	1

الكود الرقمى هو : $(10011)_2$

٢ تحويل الكود الرقمى (العدد الثنائى) إلى عدد عشرى

- لتحويل الكود الرقمى (العدد الثنائى) إلى عدد عشرى :

١ اكتب الكود (المكون من 0 ، 1) كل رقم على حدة بالترتيب وأسفل كل رقم بداية من اليمين نكتب الرقم 2 مرفوع للأس (0 ، 1 ، 2 ، ...) على الترتيب.

٢ اكتب حاصل ضرب الكود (0 أو 1) فى الرقم 2 مرفوع للأس (0 ، 1 ، 2 ، ...).

٣ اجمع الأعداد الناتجة لتحصل على العدد العشرى المطلوب.

مثال

أوجد العدد العشرى للكود الرقمى $(10001)_2$.

الحل

الكود × النظام الثنائى	1×2^0	0×2^1	0×2^2	0×2^3	1×2^4	
الناتج	1 +	0 +	0 +	0 +	16	= 17

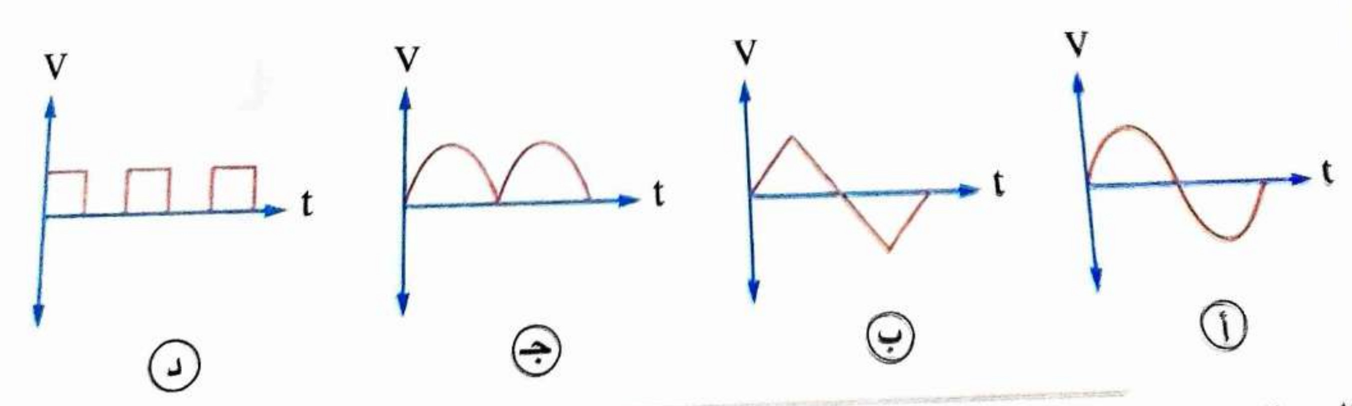
مجموع النواتج = **17** وهو العدد العشرى المطلوب.

65 اختبر نفسك

مجاب عنها

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

١ أى من المنحنيات الآتية يمثل تغير الجهد (V) لإشارة كهربية بجهاز إلكترونى رقمى بمرور الزمن (t) ؟



٢ العدد العشرى الذى يكافئ العدد الثنائى $(1010)_2$ هو ....

(أ) 4 (ب) 8 (ج) 10 (د) 14

- تعتبر الإلكترونيات الرقمية هى أساس العديد من الأجهزة والمكونات الإلكترونية مثل البوابات المنطقية.
- **وفيما يلى سنتناول شرحها بشىء من التفصيل.**

البوابات المنطقية Logic Gates

- تعتمد كثير من التطبيقات الحديثة للإلكترونيات مثل دوائر الحاسب ووسائل الاتصالات الحديثة على عناصر رقمية من دوائر إلكترونية يطلق عليها **البوابات المنطقية**.

البوابات المنطقية

أجزاء من الدوائر الإلكترونية للأجهزة الحديثة تقوم بالعمليات المنطقية على الإشارات الرقمية (المبنية على الجبر الثنائى).

- يوجد عدة أنواع للبوابات المنطقية، منها :

	بوابة العاكس (NOT)	بوابة التوافق (AND)	بوابة الاختيار (OR)
عدد المداخل والمخارج	مدخل واحد ومخرج واحد	مدخلان أو أكثر ومخرج واحد	مدخلان أو أكثر ومخرج واحد
جدول التحقق	input: 0 ← output: 1 input: 1 ← output: 0	A=0, B=0 ← output: 0 A=0, B=1 ← output: 0 A=1, B=0 ← output: 0 A=1, B=1 ← output: 1	A=0, B=0 ← output: 0 A=0, B=1 ← output: 1 A=1, B=0 ← output: 1 A=1, B=1 ← output: 1
العملية المنطقية التى تقوم بها	العكس (الخرج يكون عكس الدخل)	التوافق (الخرج لا يكون (1) إلا إذا اتفق الدخلان على (1))	الاختيار (الخرج يكون (1) إذا توفر (1) على أحد الدخلين)
الرمز	input → NOT → output	input A, input B → AND → output	input A, input B → OR → output
الدائرة الكهربية المكافئة (المفتاح يمثل الدخل والمصباح يمثل الخرج)	مصباح * مفتاح موصل على التوازى مع المصباح فى الدائرة. * عند فتح المفتاح يضىء المصباح وعند غلقه لا يضىء.	A B مصباح * مفتاحان أو أكثر متصلة على التوالى مع المصباح فى الدائرة. * لا يضىء المصباح إلا إذا أُغلقت كل المفاتيح معًا.	A B مصباح * مفتاحان أو أكثر متصلة على التوازى مع بعضهما فى الدائرة. * يضىء المصباح إذا أُغلق أى من المفاتيح أو كلها.

ملاحظة

* يمكن حساب عدد الاحتمالات (N) فى جدول التحقق من العلاقة : $N = 2^n$

حيث (n) هى عدد المدخلات.

فمثلًا :

- إذا كان للبوابة دخلان فإن عدد احتمالات الخرج = $2^2 = 4$
- إذا كان للبوابة ثلاث مداخل فإن عدد احتمالات الخرج = $2^3 = 8$

مثال (١)

استنتج جدول التحقق للدائرة المنطقية الآتية :



الحل

حدد أولًا خرج دائرة NOT ليكون أحد دخلى دائرة OR ثم أوجد خرج دائرة OR

A	B	C (NOT)	output (OR)
0	0	1	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	1	0	1

مثال (٢)

أكمل جدول التحقق للدائرة المنطقية الآتية :

A	B	output
0	0	....
0	1	....
1	0	....
1	1	....

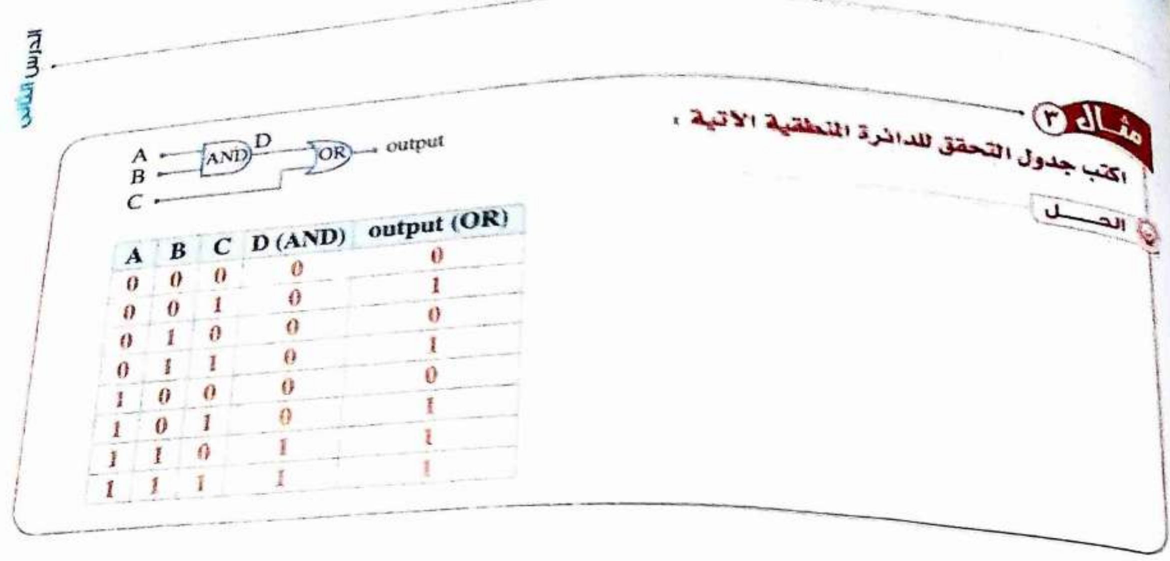
الحل

نحدد أولًا خرجى الدائرتين AND ، NOT ليكونا دخل لدائرة OR ونوجد خرج OR

A	B	C (AND)	D (NOT)	output (OR)
0	0	0	1	1
0	1	0	0	0
1	0	0	1	1
1	1	1	0	1

مثال (٣) اكتب جدول التحقق للدائرة المنطقية الآتية :

الحل



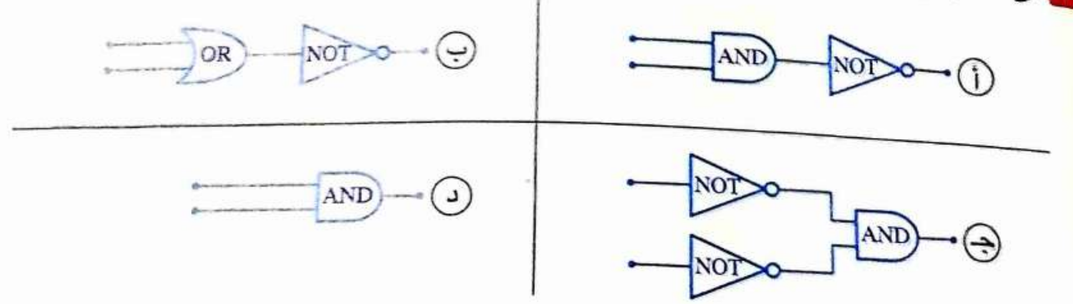
A	B	C	D (AND)	output (OR)
0	0	0	0	0
0	0	1	0	1
0	1	0	0	0
0	1	1	0	1
1	0	0	0	0
1	0	1	0	1
1	1	0	1	1
1	1	1	1	1

اختبـر نفسك

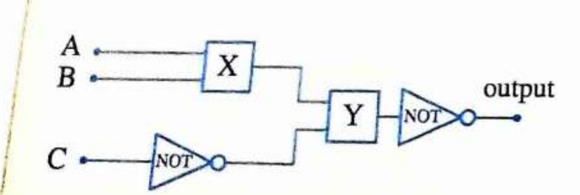
مجاب عنها

اختر الإجابة الصحيحة من بين الإجابات المعطاة :

١ أى مما يأتى يعطى خرج High عندما يكون أحد الدخلين Low ؟



٢ يعطـى جدول التحقق الـذى أمامك بعض قيم الدخل والخـرج لدائـرة البوابـات الموضحة بالشـكل، فإن البوابة X والبوابة Y هما ....



A	B	C	output
1	1	1	0
0	1	1	1

	البوابة X	البوابة Y
(أ)	AND	AND
(ب)	AND	OR
(جـ)	OR	AND
(د)	OR	OR


إجابات
أسئلة اختبر نفسك

إجابات الوحدة الأولى

الفصل 1

1) ١ (جـ) ٢ (د)
2) (أ)
3) (د)
4) (ب)
5) (أ)
6) ١ (جـ) ٢ (جـ) ٣ (جـ)
7) (د)
8) ١ (أ) ٢ (د) ٣ (جـ) ٤ (ب)
9) ١ (جـ) ٢ (جـ)
10) ١ (د) ٢ (جـ) ٣ (أ)
11) (جـ)
12) ١ (جـ) ٢ (د)

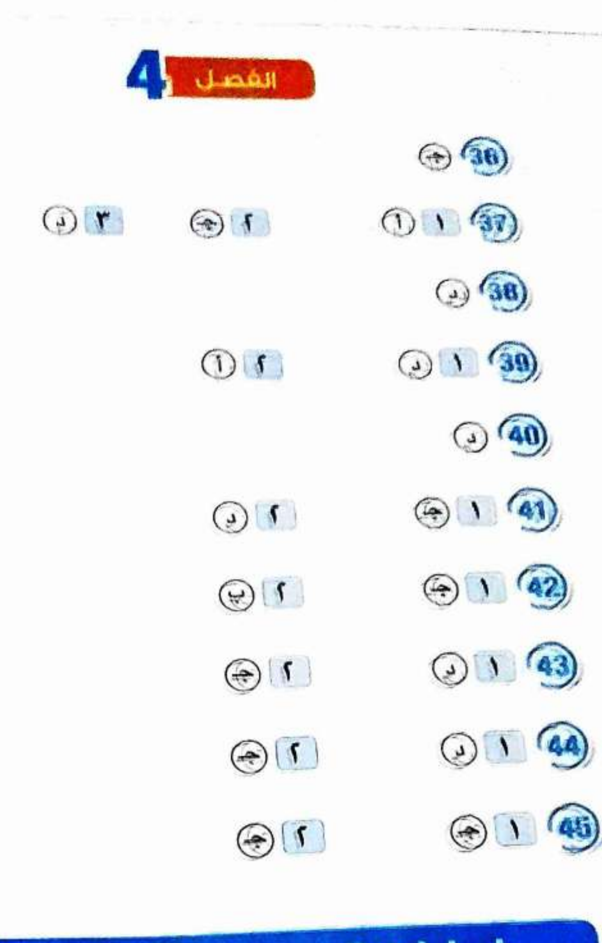
الفصل 2

13) ١ (جـ) ٢ (جـ)
14) ١ (ب) ٢ (ب) ٣ (أ) ٤ (ب)
15) ١ (د) ٢ (ب) ٣ (أ) ٤ (د)
16) ١ (ب) ٢ (ب) ٣ (د)
17) (جـ)
18) ١ (جـ) ٢ (ب) ٣ (جـ) ٤ (ب) ٥ (جـ)
19) ١ (ب) ٢ (د) ٣ (ب)
20) (ب)
21) ١ (جـ) ٢ (د) ٣ (جـ)
22) ١ (ب) ٢ (جـ) ٣ (أ)
23) (د)

الفصل 3

24) (أ)
25) (جـ)
26) ١ (د) ٢ (أ)
27) (أ)
28) ١ (ب) ٢ (جـ) ٣ (أ)
29) (جـ)
30) ١ (أ) ٢ (ب)
31) (جـ)
32) (أ)
33) (ب)
34) ١ (جـ) ٢ (د) ٣ (جـ)
35) ١ (أ) ٢ (د)

الفصل 4



36. جـ
37. ١ أ — ٢ جـ — ٣ د
38. د
39. ١ د — ٢ أ
40. د
41. ١ جـ — ٢ د
42. ١ جـ — ٢ ب
43. ١ د — ٢ جـ
44. ١ د — ٢ جـ
45. ١ جـ — ٢ جـ

إجابات الوحدة الثانية

الفصل 5

46. ١ ب — ٢ أ
47. أ
48. ب
49. د
50. ب
51. ب
52. أ
53. ب

الفصل 6

54. د
55. ١ ب — ٢ أ
56. جـ
57. ١ جـ — ٢ أ — ٣ ب

الفصل 7

58. أ
59. ١ جـ — ٢ ب
60. أ

الفصل 8

61. ١ جـ — ٢ ب
62. أ
63. ١ أ — ٢ جـ — ٣ جـ — ٤ جـ
64. ١ د — ٢ ب
65. ١ د — ٢ جـ
66. ١ أ — ٢ ب



الدولية للطبع والنشر والتوزيع
الفجالة - القاهرة

تليفون: ٢٥٨٨٥٥٨٥ - ٢٥٩٠٤٣٢٣ - ٢٥٨٨٨٨٨٦/٠٢
www.alemte7anbooks.com
Email : info@alemte7anbooks.com
الخط الساخن ١٥٠١٤

 /alemte7anbooks